

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

UNIDAD DE POSGRADO

**Fibras foliares de *Astrocaryum chambira* Burret
(Arecaceae) y especies afines, caracterización
histológica y físico-química en relación a su potencial
productividad comercial**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias Biológicas

AUTOR

Manuel Jesús Marín Bravo

ASESOR

Francis Kahn

Lima – Perú

2013

CONTENIDO

I. Introducción	1
II. Antecedentes	4
III. Hipótesis y Objetivos	12
IV. Materiales y Métodos	14
4.1. Áreas de estudio	
Comunidad nativa de Yamayakat	14
Caserío de Santa Luz	15
Ribera del río Nanay	15
Distrito de Pozuzo	15
Ciudad de Puerto Quito	16
4.2. Especies estudiadas	
<i>Astrocaryum chambira</i>	16
<i>Astrocaryum jauari</i>	17
<i>Astrocaryum standleyanum</i>	17
<i>Astrocaryum perangustatum</i>	18
4.3. Colecta del material botánico	
4.3.1. Obtención de las fibras comerciales	28
Elección de la planta	28
Colecta de las hojas no abiertas (cogollos)	28
Separación de pinnas	28
Extracción de las fibras	28
Procesamiento de fibras	
i. Hervido y lavado	29
ii. Secado y trenzado	29

4.3.2. Colecta de hojas abiertas	36
4.3.3. Colecta de hojas no abiertas	36
4.3.4. Fijación de fibras comerciales	36
4.4. Estudio histológico	
a) Cortes a mano alzada	36
b) Cortes a micrótopo	37
c) Cortes semifinos y ultrafinos	37
d) Macerado de hojas	39
e) Pruebas microquímicas en hojas	39
4.5. Determinación del contenido de lignina y celulosa	39
a) Cuantificación de lignina	40
b) Cuantificación de celulosa	40
4.6. Determinación de las propiedades físicas de la fibra comercial	41
a) Ensayo de tracción	41
b) Densidad	42
c) Espesor promedio	42
4.7. Inventario poblacional de <i>Astrocaryum chambira</i>	42
a) Inventario poblacional	42
b) Estructura poblacional	42
4.8. Parámetros biométricos, muestreo y tratamiento estadístico	43
V. Resultados	
5.1. Estudio histológico de las especies	50
5.1.1. Descripción de los caracteres comunes en la estructura interna foliar	50
a) Epidermis	50
b) Hipodermis	50
c) Mesófilo	54
i. Paquetes de fibras adaxiales	51
ii. Paquetes de fibras abaxiales	51
d) Estegmatos	51
e) Fibras no vasculares	51
f) Fibras vasculares	52
g) Fibra comercial	52

5.1.2. Descripción de los caracteres diferenciales en la estructura interna foliar	53
a) Hojas no abiertas	53
b) Hojas abiertas	53
5.1.3. Parámetros biométricos	
a) <i>Astrocaryum chambira</i>	75
b) <i>Astrocaryum jauari</i>	78
c) <i>Astrocaryum standleyanum</i>	79
d) <i>Astrocaryum perangustatum</i>	80
5.1.4. Morfometría comparada de <i>Astrocaryum chambira</i> en relación a Las localidades evaluadas	84
5.1.5. Morfometría comparada de <i>Astrocaryum chambira</i> en relación a <i>A. jauari</i> , <i>A. standleyanum</i> y <i>A. perangustatum</i>	88
5.2. Ultra estructura de la pared de las fibras foliares de <i>Astrocaryum chambira</i>	96
5.3. Análisis químicos de las hojas de <i>Astrocaryum chambira</i>	
a) Cuantificación del contenido en lignina	102
b) Cuantificación del contenido en celulosa	102
5.4. Pruebas microquímicas	
a) Prueba de floroglucinol	105
b) Prueba de cloroyoduro de zinc	105
5.5. Análisis físicos de la fibra de <i>Astrocaryum chambira</i> y <i>A. jauari</i>	108
5.6. Inventario y estructura poblacional de <i>Astrocaryum chambira</i> en las localidades de Yamayakat y Santa Luz	114
VI. Discusión	
5.1. Sobre la metodología empleada	123
5.2. Naturaleza de la fibra comercial	124
5.3. Fibras foliares según el tipo de hoja	125
5.4. Ultra estructura de las fibras	126
5.5. Composición química de las fibras	127
5.6. Propiedades físicas de las fibras	129

5.7.	Otras especies de <i>Astrocaryum</i>	130
5.8.	Otras especies de palmeras	131
5.9.	Inventario y estructura poblacional de <i>Astrocaryum chambira</i>	132
5.10.	Potencialidad de la producción de la fibra comercial de <i>A. chambira</i>	134
5.11.	Manejo sostenible de la chambira	135
VII.	Conclusiones	138
VIII.	Recomendaciones	139
IX.	Referencias bibliográficas	140
X.	Anexos	
	Anexo 1. Glosario de los principales términos empleados	150
	Anexo 2. Posición taxonómica de las especies evaluadas	152
	Anexo 3. Esquemas convencionales de Metcalfe & Chalk (1956)	153
	Anexo 4. Planilla de tiempo para embebido de parafina	154
	Anexo 5. Norma ASTM 2256	155
	Anexo 6. Norma ASTM 143	156
	Anexo 7. Informe técnico N°756-10	157
	Anexo 8. Informe técnico N°815-10	159
	Anexo 9. Informe técnico N°1448-11	161
	Anexo 10. Base de datos originales de las especies estudiadas	162
	Anexo 11. Morfometría de la ultra estructura de la pared de fibras no vasculares de <i>Astrocaryum chambira</i>	203
	Anexo 12. Resultados del análisis de varianza de las especies estudiadas	204
	Anexo 13. Resultados del análisis de varianza de las especies estudiadas según el estadio de desarrollo foliar	205
	Anexo 14. Resultados de la prueba t para la lámina y longitud de fibras foliares <i>Astrocaryum chambira</i> según las localidades	206
	Anexo 15. Resultados de la prueba t para parámetros de fibras foliares de <i>Astrocaryum chambira</i> según el tipo de hoja	207
	Anexo 16. Resumen de los parámetros empleados por especie	209
	Anexo 17. Resultados de la prueba t para <i>Astrocaryum chambira</i> según el tipo de hoja	210

Anexo 18. Resultados de la prueba t para <i>Astrocaryum chambira</i> según la procedencia	211
Anexo19. Resumen de los principales parámetros evaluados en <i>Astrocaryum chambira</i> según la procedencia y el tipo de hoja	212
Anexo 20. Resumen de los parámetros evaluados de las especies estudiadas	213
Anexo 21. Resumen de los parámetros evaluados en las especies según el tipo de hoja	213
Anexo 22. Resumen del análisis de correlación entre las variables de las especies	215

LISTA DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Ubicación de las zonas de estudio	19
Figura 2. Vista panorámica de Yamayakat	20
Figura 3. Vista parcial de Santa Luz	21
Figura 4. Vista panorámica del río Nanay	22
Figura 5. Vista panorámica de Pozuzo	23
Figura 6. <i>Astrocaryum chambira</i>	24
Figura 7. <i>Astrocaryum jauari</i>	25
Figura 8. <i>Astrocaryum standleyanum</i>	26
Figura 9. <i>Astrocaryum perangustatum</i>	27
Figura 10. <i>Astrocaryum chambira</i> , ejemplares juveniles y adultos	30
Figura 11. <i>Astrocaryum chambira</i> , hojas abiertas y no abiertas	31
Figura 12. <i>Astrocaryum chambira</i> , obtención de la fibra	32
Figura 13. <i>Astrocaryum chambira</i> , procesamiento de fibras I	33
Figura 14. <i>Astrocaryum chambira</i> , procesamiento de fibras II	34

Figura 15. <i>Astrocaryum chambira</i> . Artículos elaborados en base a la fibra comercial.	35
Figura 16. Diagrama de la máquina de tracción universal	46
Figura 17. Diagrama de la medida de densidad en fibras	47
Figura 18. Localización de parcelas de evaluación	48
Figura 19. Diagrama de flujo de la metodología	49
Figura 20. <i>Astrocaryum chambira</i> , sección transversal de la hoja abierta	54
Figura 21. <i>Astrocaryum chambira</i> , sección transversal de una hoja no abierta	55
Figura 22. <i>Astrocaryum jauari</i> , sección transversal de la hoja abierta	56
Figura 23. <i>Astrocaryum jauari</i> , sección transversal de la hoja no abierta.	57
Figura 24. <i>Astrocaryum standleyanum</i> , sección transversal de la hoja abierta	58
Figura 25. <i>Astrocaryum standleyanum</i> , sección transversal de la hoja no abierta	59
Figura 26. <i>Astrocaryum perangustatum</i> . Sección transversal de la hoja abierta	60
Figura 27. <i>Astrocaryum perangustatum</i> , sección transversal de la hoja no abierta	61
Figura 28. <i>Astrocaryum chambira</i> , Estegmatos en fibras no vasculares	62
Figura 29. <i>Astrocaryum chambira</i> , fibras no vasculares en diafanizados de la hoja no abierta	62
Figura 30. <i>Astrocaryum chambira</i> , fibras vasculares en diafanizados de la hoja no abierta	64
Figura 31. <i>Astrocaryum jauari</i> , fibras foliares en los diafanizados de la hoja no abierta	65
Figura 32. <i>Astrocaryum standleyanum</i> , fibras foliares en los macerados de la hoja abierta	66

Figura 33. <i>Astrocaryum perangustatum</i> , fibras foliares en los macerados de la hoja abierta	67
Figura 34. <i>Astrocaryum chambira</i> , microfotografías en luz polarizada I	68
Figura 35. <i>Astrocaryum chambira</i> , microfotografías en luz polarizada II	69
Figura 36. <i>Astrocaryum chambira</i> , sección transversal de la fibra comercial	70
Figura 37. <i>Astrocaryum chambira</i> , formación de fibras no vasculares	71
Figura 38. <i>Astrocaryum chambira</i> , paquetes de fibras no vasculares adaxiales	72
Figura 39. Diagrama comparativo de la estructura foliar de las especies	73
Figura 40. <i>Astrocaryum chambira</i> . Histograma de frecuencias de la longitud de fibras no vasculares (F _{nv}) de la hoja no abierta y de la hoja abierta	75
Figura 41. <i>Astrocaryum chambira</i> . Histograma de frecuencias la longitud de las fibras vasculares (F _v) de la hoja abierta y no abierta	77
Figura 42. Longitud de las fibras no vasculares foliares de la hoja no abierta y de la hoja abierta en las especie evaluadas	81
Figura 43. Histograma de frecuencias de la longitud de las fibras vasculares de la hoja no abierta y de la hoja abierta en las especies evaluadas	83
Figura 44. Longitud de los paquetes de fibras no vasculares de la hoja no abierta y de la hoja abierta en las especies evaluadas	90
Figura 45. Longitud de las fibras foliares de la hoja no abierta y de la hoja abierta en las especie evaluadas.	94
Figura 46. <i>Astrocaryum chambira</i> , microfotografías de MET de fibras no vasculares	97
Figura 47. <i>Astrocaryum chambira</i> , microfotografías de MET de la fibra no vascular	99
Figura 48. <i>Astrocaryum chambira</i> , microfotografía de MET de la fibra vascular	99
Figura 49. <i>Astrocaryum chambira</i> , reacción de floroglucinol en la hoja no abierta	106
Figura 50. <i>Astrocaryum chambira</i> , reacción de cloroyoduro de zinc en hojas no abiertas	107

Figura 51. Datos globales evaluación poblacional en Yamayakat, Amazonas	118
Figura 52. Resultados por parcelas de evaluación para <i>Astrocaryum chambira</i> en Santa Luz, Ucayali	119
Figura 53. Resultados por parcelas de evaluación para <i>Astrocaryum chambira</i> en Yamayakat, Amazonas	120
Figura 54. Datos globales evaluación poblacional de <i>Astrocaryum chambira</i> en Santa Luz, Ucayali	121

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipo celular y forma de la sección transversal de la fibra de <i>Astrocaryum chambira</i> comparada con fibras del comercio	74
Tabla 2. Longitud y ancho de las fibras no vasculares (F _{nv}) y longitud de los paquetes de fibras en <i>Astrocaryum chambira</i> según la fase de desarrollo foliar y la procedencia.	85
Tabla 3. Distribución t de Student para las variables de fibras de <i>Astrocaryum chambira</i> según la procedencia	86
Tabla 4. Distribución t de Student para la lámina, paquetes de fibras y su número en <i>Astrocaryum chambira</i> por procedencias	86
Tabla 5. Longitud de los paquetes de fibras no vasculares en las especies	91
Tabla 6. Dimensiones celulares (µm) de fibras no vasculares en las especies	92
Tabla 7. Dimensiones celulares (µm) de fibras vasculares en las especies	93
Tabla 8. Parámetros anatómicos relacionados a las fibras no vasculares de hojas no abiertas	95
Tabla 9. <i>Astrocaryum chambira</i> , ultra estructura de la pared celular de las fibras foliares	101
Tabla 10. <i>Astrocaryum chambira</i> , composición química de la fibra comercial y hojas	103
Tabla 11. Composición química de la fibra de <i>Astrocaryum chambira</i> comparada con fibras de importancia comercial	104
Tabla 12. <i>Astrocaryum chambira</i> , propiedades físicas de muestras de fibras	109
Tabla 13. <i>Astrocaryum jauari</i> , propiedades físicas de muestras de fibras	110
Tabla 14. Datos comparativos de las propiedades físicas de fibras de <i>Astrocaryum chambira</i> y <i>A. jauari</i>	111
Tabla 15. Dimensiones celulares y fuerza de tracción de la fibra comercial de chambira comparadas con fibras comerciales	112
Tabla 16. Dimensiones de las fibras de <i>Astrocaryum chambira</i> y <i>A. jauari</i> comparadas con fibras de otras palmeras de importancia comercial	113
Tabla 17. Resultados globales por parcelas en la evaluación en la localidad de Yamayakat, Amazonas	115

Tabla 18. Parcelas de evaluación de <i>Astrocaryum chambira</i> en la localidad de Santa Luz, Ucayali	116
Tabla 19. Transectos de inventario de <i>Astrocaryum chambira</i> en la localidad de Santa Luz, Ucayali	117
Tabla 20. Rendimiento de fibras comerciales por hoja no abierta en <i>Astrocaryum chambira</i> , datos con referencia a Santa Luz, Ucayali	122

LISTA DE ABREVIATURAS

Cit:	Citoplasma
DE :	Desviación estándar
Ep ab :	Epidermis abaxial
Ep ad :	Epidermis adaxial
FAA :	Formaldehido, Ácido acético glacial y Alcohol
Fnv :	Fibras no vasculares
Fv :	Fibras vasculares
Gpa:	Giga Pascal
Hc :	Haz conductor
Hip ad:	Hipodermis adaxial
Hip ab:	Hipodermis abaxial
Lm:	Lámina media
Lu:	Lumen
MET :	Microscopio electrónico de transmisión
Nm :	Nanómetros
Pa :	Parénquima
Ps :	Pared secundaria
Punt:	Punteadura
µm :	Micrómetro
Tab:	Tabique
n :	número de muestras

AGRADECIMIENTOS

A Nancy Rojas, de la Facultad de Medicina, UNMSM, por su invaluable apoyo en el uso del microscopio electrónico de transmisión.

A Yakov Quinteros, Cecilia Vegas, Héctor Aponte, Miguel Machagua y Rommel Montufar, del Proyecto FP-7 PALMS, por su valioso aporte en la colecta de las especies estudiadas.

A Kember Mejía (Instituto de investigaciones de la Amazonia Peruana) y Mirella Clavo (Universidad Nacional de Ucayali) por su desinteresado apoyo en la colecta y estadía en el trabajo de campo.

A Janet Quiñones, del laboratorio de Microscopía Óptica, Facultad de Ingeniería Geológica, UNMSM, por el apoyo prestado en la observación del microscopio de luz polarizada.

A Marinoli Rivas y Carlos Salvador, del Laboratorio de Anatomía y Sistemática Vegetal del Departamento de Gimnospermas y Monocotiledóneas, Museo de Historia Natural, por su valioso apoyo en las tareas del laboratorio.

A Mery Suni y Giovanna Vadillo, por sus aportes en la redacción de la tesis.

A J.C. Pintaud y J. Alba, por las fotografías cedidas.

A Betty Millán, Directora del Museo de Historia Natural, por la confianza depositada en la ejecución del proyecto de tesis.

A Francis Kahn, Asesor de la tesis, por su exhaustiva corrección y aportes en la ejecución del proyecto y la redacción de la tesis.

El estudio doctoral y esta tesis ha sido posible gracias al financiamiento del convenio UNMSM (Museo de Historia Natural)/IRD (Instituto de Investigación para el Desarrollo) y el proyecto FP-7 PALMS de la Comunidad Económica Europea así como el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC), por el cual el autor expresa a estas instituciones su más sincero agradecimiento.

A mi amada Jasmín, por su
inestimable apoyo y comprensión en
la realización del trabajo.

RESUMEN

La fibra foliar extraída de la hoja de *Astrocaryum chambira* (Arecaceae) es caracterizada a través de sus propiedades anatómicas, físicas y químicas. Los resultados se comparan con aquellos obtenidos de otras tres especies del género (*Astrocaryum jauari*, *A. standleyanum* y *A. perangustatum*). El material biológico, consistente en fibras foliares, hojas abiertas y no abierta, fue colectado en el campo; las principales técnicas empleadas para el estudio fueron macerados foliares, cortes a mano alzada, cortes a micrótopo para la microscopia óptica y cortes ultrafinos para la microscopia electrónica de transmisión, así como análisis químico cuantitativo de celulosa y lignina y determinación de la fuerza de tracción de las fibras.

La fibra de chambira, está compuesta de fibras no vasculares celulósicas, las cuales son extraídas conjuntamente con la epidermis e hipodermis adaxial de la hoja. La fibra no vascular tiene una gran longitud. La ultraestructura de la pared celular de la fibra no vascular consiste en tres subcapas, siendo la intermedia la más gruesa. La fibra de chambira tiene un alto contenido de celulosa y un bajo contenido en lignina; desarrolla una alta resistencia a la tracción. Las fibras foliares de las especies evaluadas tienen mayor longitud y ancho en las hojas maduras que en las hojas no abiertas. *Astrocaryum jauari*, *A. standleyanum* y *A. perangustatum* se diferencian de *A. chambira* en el tamaño de las fibras foliares y los paquetes de fibras no vasculares. La fibra de *Astrocaryum chambira* puede

ser clasificada como una fibra blanda, similar por su longitud y resistencia a las principales fibras comerciales.

Palabras claves: Arecaceae, *Astrocaryum*, fibras no vasculares, fibras celulósicas, fibra de chambira.

ABSTRACT

Fiber extracted from the leaf of *Astrocaryum chambira* (Arecaceae) is characterized from anatomical, physical and chemical properties. The results are compared with those obtained from leaf fibers of three other species of the genus (*Astrocaryum jauari*, *A. standleyanum* and *A. perangustatum*). The biological material consisting of fibers, open and unopened leaves are collected in the field, the techniques used were macerated leaf, freehand cross sections and microtome cuts for light microscopy and ultrathin for transmission electron microscopy. The chambira fiber is composed of cellulosic non-vascular fibers, which are extracted together with the epidermis and hypodermis adaxial of the leaf. The non-vascular fibers have a noticeable length. The ultrastructure of cell wall non vascular fiber consists in three sub layers, being the intermediate layer the thickest. The chambira fiber has high cellulose content and low lignin content; it develops a high tensile strength. The leaf fibers of species studied are long and wider in mature leaves than in non-opened leaves. *Astrocaryum jauari*, *A. standleyanum* and *A. perangustatum* differ from *A. chambira* in the size of the leaf fibers and of the non-vascular fibrous strands. *Astrocaryum chambira* fiber can be classified as a soft fiber, similar in length and resistance to commercial fibers.

Key words: *Astrocaryum*, Arecaceae, cellulosic fiber, chambira fiber, non vascular fiber.

I. INTRODUCCIÓN

El género *Astrocaryum* con 24 especies nativas, es el tercer género más diversificado de las palmeras en la cuenca amazónica (Kahn & Millán 1992) y es el que más especies aporta para la extracción de fibras en la Amazonia (Patiño 1997).

Astrocaryum chambira es una importante especie amazónica productora de fibra vegetal. Diversos artículos artesanales como shicras, hamacas y redes de pesca son elaborados a partir de estas fibras y tienen amplia aceptación en las poblaciones rurales y urbanas; estos productos y otros derivados se comercializan en redes nacionales e internacionales de distribución de artesanías en los países de la región amazónica: Perú, Colombia y Ecuador (Mejía 1988; Vormisto 2002).

La fibra comercial en *Astrocaryum chambira* es extraída a partir de las pinnas de la hoja no abierta, llamada por los pobladores *cogollo* (Vormisto 2002). Los principales elementos constituyentes de la fibra son las fibras no vasculares, que corresponden a células de esclerenquima ubicadas principalmente hacia la parte superior del mesófilo (Holm Jensen & Balslev 1995). Diversos estudios resaltan la importancia del estudio anatómico de las fibras para definir sus características morfológicas (Rasheed & Dasti 2003; Benahmed-Bouhafoun 2007 et al.; Kahlil et al. 2006); la longitud y ancho de la fibra y las características del engrosamiento secundario en la

pared celular son ejemplos de parámetros obligados en la caracterización morfo-anatómica de las fibras comerciales (Mc Dougall et al. 1993). Además la forma y distribución de los paquetes de fibras son consideradas como caracteres diagnósticos para las especies (Tomlinson 1990; Millán & Kahn 2010). Las posibilidades de producción y uso a escala comercial de estas fibras dependen inclusive de la caracterización de sus propiedades físicas y químicas (Rowell et al. 2000; Msahli et al. 2007; Benahmed-Bouhafoun et al. 2007).

Existe una intensa actividad extractiva de *Astrocaryum chambira* para la obtención de estas fibras, lo cual determina muchas veces que se vean disminuidas las poblaciones de la especie, al preferirse seccionar toda la planta para extraer el cogollo (Vormisto 2002; Coomes 2004). Las hojas abiertas no suelen ser utilizadas en el proceso y sin embargo estas presentan características morfológicas similares al de las hojas no abiertas empleadas en la obtención de las fibras (Holm Jensen & Balslev 1995). Por ello, a pesar de la creciente importancia en la comercialización de los productos hechos a base de las fibras de *Astrocaryum chambira*, la intensidad del proceso extractivo mismo en varias localidades de la Amazonia hace que el recurso pueda verse seriamente afectado en el futuro.

La actual explotación de las fibras de chambira y su uso artesanal-comercial por parte de los diferentes grupos étnicos requiere de una validación científica para poder garantizar la productividad y sustentabilidad del recurso. La determinación de las principales características morfo-anatómicas y físico-químicas en la fibra de *Astrocaryum chambira* permitirá su empleo futuro en la industria de las fibras comerciales. El conocimiento de estas características permitirá además un adecuado manejo en la producción de la fibra y un manejo sostenible acorde con la conservación de la especie.

En la presente tesis se realiza la caracterización morfo-anatómica de la fibra comercial de *Astrocaryum chambira* y su comparación con otras especies de palmeras, así como la caracterización de las propiedades físico-químicas de su fibra. Los resultados e implicancias del estudio contribuirán a obtener un conocimiento integral de la fibra de *Astrocaryum chambira* y determinará su mejor aprovechamiento comercial y el adecuado manejo del recurso mismo, con miras a su sostenibilidad y conservación en el ecosistema amazónico.

II. ANTECEDENTES

Las fibras naturales son estructuras alargadas producidas por plantas y animales, que se pueden hilar para obtener hebras, hilos o cordelería. Las fibras de origen vegetal han sido empleadas desde la antigüedad por el hombre, siendo en la forma de tejidos de punto, en esteras o unidas, las que han conformado las telas esenciales para la vestimenta en la sociedad. Además, en función a su importancia económica, las plantas productoras de fibras son las que siguen en importancia a las plantas alimenticias (Macía 2006).

Una de las primeras manifestaciones del empleo de las fibras, la cestería, ha sido de fundamental importancia en la vida humana desde los inicios de la civilización. La cestería artesanal o elaboración de cestos en base al entrecruzado de fibras vegetales se remonta a épocas anteriores a la aparición de la agricultura. Esta actividad estuvo siempre asociada a los grupos nómadas, a la recolección de frutos, la cacería y la pesca artesanal. También desde esa época temprana datan la elaboración de redes, cuerdas y esteras, propias de las actividades primarias (Macía 2006; Expósito 2010).

La técnica sencilla de cruzar las tiras extraídas de diversos especímenes vegetales como la forma más elemental de tejido ha permitido que la cestería se desarrollase en diferentes grupos étnicos, diferenciándose en las diferentes especies

vegetales empleadas en cada región y en los usos que cada grupo social le ha dado a los productos elaborados (Patiño 1997).

Con la aparición de la agricultura, la obtención de las fibras vegetales, tanto de tallos, hojas y frutos, permitió una elaboración compleja de hilados y tejidos, constituyéndose en la base primordial de la vestimenta en nuestra cultura. En México y en Pakistán se han encontrado vestigios de artículos de algodón, *Gossypium barbadense*, de 5000 años de antigüedad. Fibras como el lino común, *Linum usitatissimum*, el yute, *Corchorus capsularis* y el bonote, *Cocos nucifera*, se cultivan y extraen desde la antigüedad (FAO 2009).

2.1. Fibras comerciales

Las fibras de importancia económica a nivel mundial son proporcionadas por especies vegetales pertenecientes a diversas familias, como: Agavaceae, Arecaceae, Bombacaceae, Bromeliaceae, Malvaceae, Musaceae y Poaceae entre las principales. Las llamadas *fibras duras* del comercio son las fibras de hojas de Monocotiledóneas, constituidas por haces vasculares y fibras asociadas, por lo general estas fibras tienen un alto contenido de lignina y son de consistencia o textura rígida. Las *fibras blandas* del comercio son fibras floemáticas o pericíclicas de tallos de Dicotiledóneas, que pueden tener cierto grado de lignificación, pero que por lo general son suaves y flexibles (Evert 2006).

Las fibras de lino, obtenidas de los vástagos de *Linum usitatissimum*, son usadas principalmente para hacer la tela de lino. La planta ha sido usada para la producción de fibra desde épocas prehistóricas. Como el algodón, la fibra de lino es un polímero de celulosa, pero su estructura es más cristalina haciéndola más fuerte y rígida; Las fibras finas y de longitud regular del lino son hiladas para textiles. Más

del 70% del lino va a la manufactura de ropa, mientras las fibras más cortas del lino producen hilos más pesados utilizables en la elaboración de toallas de cocina, tiendas y lonas. Fibras de menor grado son empleadas como refuerzo y relleno de compuestos termoplásticos y resinas termoestables usadas en sustratos interiores de automóviles, muebles y otros productos de consumo (FAO 2009; Amit & Hall 2010).

La cabuya (*Furcraea andina*) es una de las fibras que tuvo gran importancia en las sociedades prehispánicas. Fue una de las primeras fibras vegetales procesadas para la manufactura de tejidos como redes, hamacas, hondas e implementos textiles. Un ejemplo lo constituyen las Hondas y Warakas hechas de cabuya asociadas a los ajuares funerarios en la cultura Paracas. En la cultura Nazca, la fibra de cabuya se utilizaba para hacer vástagos o sujetadores de los abanicos de plumas, asimismo sirvió para elaborar hondas, redes y calzados (FAO 2009; León 1968).

El sisal (*Agave sisalana*), nativa de México, es una fibra basta, dura e inadecuada para textiles o telas, pero es fuerte y durable, no absorbe la humedad fácilmente, resiste el deterioro del agua salada, y tiene una textura superficial fina que acepta una amplia gama de teñidos y permite su utilización en cordelería (FAO 2009; Mc Laughlin & Schuck 1991).

El cáñamo (*Cannabis sativa*) sirvió principalmente para hacer cuerdas o bolsas en la antigüedad. Desde el siglo V antes de Cristo hasta finales del siglo XIX, el 90% de las cuerdas y velas usadas en la navegación, así como las redes para pesca se hacían con cáñamo. En China, el cáñamo es desengomado para procesarlo en máquinas de lino o algodón. La mezcla con algodón, lino, lana y seda da al cáñamo

mayor suavidad mientras que le añade resistencia y durabilidad al producto. En Europa, las fibras de cáñamo son usadas principalmente en la industria del papel, que gracias a su bajo contenido de lignina, pueden ser convertidas en pulpa usando menos químicos que los empleados al usar la madera. Hasta mediados del siglo XIX, el cáñamo junto con el lino eran las fibras textiles más extendidas por el mundo (FAO 2009; Karus 2005).

El kenaf (*Hibiscus cannabinus*), es una planta tropical originaria del centro este de África, donde ha sido cultivada desde miles de años atrás para la producción de alimentos y fibras. Proporciona una fibra basta que se usa para producir cuerdas, cordones y sacos (Webber et al. 2002).

El esparto (*Stipa tenacissima*), originario de las regiones ubicadas entre el Mar Negro y el Mar Caspio, se extiende actualmente por la región del Mediterráneo hasta la península Ibérica. Con las fibras de esta planta se elaboran sogas, alpargatas y cestos. Hoy en día su uso es menor pero en muchas embarcaciones se lo utiliza por su gran resistencia a la humedad y a las variaciones climáticas (Soler & Guzmán 1951).

El abacá (*Musa textilis*) es una fibra de hoja, compuesta por células largas y delgadas que forman parte de la estructura de soporte de la hoja. El contenido de lignina está por encima del 15%. El abacá es valorado por su gran resistencia mecánica, flotabilidad, resistencia al daño por agua salada y por el largo de su fibra. La firma de automóviles *Mercedes Benz* emplea una mezcla de polipropileno termoplástico e hilaza de abacá en partes del cuerpo de los automóviles (Moreno et al. 2005; FAO 2009).

2.2. Fibras de palmeras

Las fibras vegetales provenientes de las palmeras nativas no cultivadas constituyen también un importante recurso económico empleado para fabricar diversos productos artesanales; tienen desde hace tiempo una creciente significación económica y están consideradas dentro de un rubro denominado productos forestales no maderables (Schultes 1977; Penn 2008). Inclusive, existen reportes del uso de las fibras de palmeras para la vestimenta de grupos nativos prehispánicos (Patiño 1963). Ejemplos del empleo utilitario lo tenemos en las fibras para elaboración de cepillos que se obtienen de la vaina foliar de varias especies de palmeras, por ejemplo, *Aphandra natalia* (Balslev et al. 2008; Kronborg et al. 2008) y *Leopoldinia piassaba* (Putz 1979; Lescure et al. 1992) o para la elaboración de cordelería que se obtienen del limbo foliar de especies de *Raphia* (Sandy & Bacon 2001).

Cocos nucifera produce, a nivel del fruto, una fibra resistente a la putrefacción llamada “bonote”. Se extrae de los tejidos que rodean la semilla y tiene una de las más altas concentraciones de lignina presentes en las fibras de palmeras. Hay dos tipos de bonote: la fibra marrón, la cual se obtiene de los cocos maduros y la fina fibra blanca, que se extrae de los cocos verdes inmaduros luego de humedecerlo hasta por 10 meses (FAO 2009). La fuerza de tracción del bonote es más baja comparada con la del abacá, pero tiene buena resistencia a la acción microbiana y al daño por agua salada y es utilizada en la industria automotriz (Balick & Beck 1991).

Especies del género *Calamus* proporcionan materia prima importante para la fabricación de muebles de ratán (Kalima & Jasni, 2004). Las fibras extraídas de la hoja de *Chamaerops humilis* y *Borassus flabellifer* (Davis & Johnson 1987;

Benahmed-bouhafsoun et al. 2007), del pecíolo de *Mauritia flexuosa* (Bresani 1924; De Los Heros & Zárate 1980) se consideran materiales prometedores para la industria de la celulosa.

2.3. Fibras de *Astrocaryum*

Fibras también se extraen del género *Astrocaryum*, uno de los más representativos en las regiones intertropicales de América del Sur. En el Perú se encuentran 16 especies de *Astrocaryum*, cuatro de ellas endémicas (Millán 2006; Kahn 2008). Es el caso de *Astrocaryum aculeatum* y *A. vulgare* en la región central y este de la Amazonia para confeccionar las típicas bolsas nativas o *shicras*, hamacas y redes de pesca (Moussa & Kahn 1997; Cadena et al. 2007). En regiones semi-áridas de Brasil se extraen fibras de *Astrocaryum arenarium* para la confección de cuerdas (Barbosa Rodrigues 1903) y en los bosques de las vertientes del Pacífico de Ecuador, Colombia, Panamá y Costa Rica, de *Astrocaryum standleyanum* para la confección de sombreros y cestos (Velásquez 2001). Especies como *Astrocaryum jauari* y *A. urostachys* tienen una menor importancia en la producción de fibra (Holm Jensen & Balslev 1995).

La chambira, *Astrocaryum chambira*, es la más importante especie productora de fibra vegetal en la Amazonía occidental; varios grupos nativos como los Siona, Bora, Quichua, Waorani, Cofán, Secoya y Chácabo, se cuentan entre los principales grupos étnicos en donde se tiene arraigado el empleo de la fibra (Wheeler 1970; Boom 1988; Holm Jensen & Baslev 1995; Gómez et al 1996; Vormisto 2002). Esta planta tiene un gran potencial dentro de los sistemas agroforestales amazónicos y es considerado como uno de los primeros recursos no forestales a ser domesticado para su conservación (Coomes 2004). Los artículos hechos a base de las fibras de la chambira se comercializan en los mercados regionales y redes nacionales e

internacionales de distribución de artesanía en Perú, Colombia y Ecuador (Mejía 1988; Holm Jensen & Balslev 1995; Vormisto 2002).

Muchas organizaciones y proyectos nacionales e internacionales tratan de mejorar las condiciones de vida del poblador amazónico promoviendo la explotación, el procesamiento y comercialización de los productos hechos a base de fibras vegetales (Rojas & Álvarez 2007; Montoya & Panduro 2007; Balslev et al. 2008).

2.4. Estudios de anatomía foliar

El estudio de la anatomía de la hoja ha contribuido a incrementar el conocimiento de las fibras foliares de las palmeras. Aspectos morfométricos en el desarrollo de fibras han sido revisados por Rasheed & Dasti (2003) para las fibras comerciales y por Benahmed-Bouhafoun et al. (2007) para fibras de *Chamaerops*. Aspectos anatómicos ultra estructurales y composición química de las agrofibras del comercio son tratados en detalle por Rowell et al. (2000) y Kahlil et al. (2006). Las características de los paquetes de fibras foliares y su distribución en la hoja han sido considerados de valor diagnóstico (Tomlinson 1961, 1990). La anatomía foliar de plántulas y juveniles de varias especies de *Astrocaryum* con fines taxonómicos fueron analizados por Millán (1998, 2009).

El estudio anatómico es determinante para la caracterización de las fibras y su utilización en la industria textil y papelera. La caracterización morfométrica de la longitud, ancho de las fibras y el espesor de la pared celular determinan las principales propiedades físicas y mecánicas de las fibras comerciales (Kromer 2009). La estructura interna relacionada con la composición química permite explicar también las propiedades generales de las fibras y su aplicación en la industria (Rowell et al. 2000). Las características originales de muchas fibras naturales

pueden ser modificadas con la incorporación de aditivos sintéticos a nivel de la pared celular y así obtener fibras reforzadas de uso variado en procesos industriales (Farr 1947; Salvador et al. 2008).

Actualmente existe un vacío importante en la investigación de las fibras comerciales del género *Astrocaryum* desde el punto de vista anatómico. Asimismo, se carece de información sobre las características físicas y químicas de la fibra comercial de *Astrocaryum chambira*. Dado el potencial económico que posee la especie, se desprende la importancia del estudio anatómico, físico y químico de las fibras foliares, con miras al establecimiento de parámetros de producción de la fibra que determinen una explotación económicamente sostenible de la especie.

III. HIPÓTESIS y OBJETIVOS

3.1. Hipótesis:

- a) Las especies del género *Astrocaryum* difieren de manera importante en sus parámetros foliares.
- b) Las características anatómicas y morfométricas de las fibras foliares en las especies del género *Astrocaryum* no están influenciadas por el ambiente.
- c) Las características anatómicas y morfométricas de las fibras foliares en las especies del género *Astrocaryum* no están influenciadas por el estadio de desarrollo foliar.

3.2. Objetivo general

Caracterizar las variaciones anatómicas que presentan las fibras foliares y sus propiedades físico-químicas en *Astrocaryum chambira* y especies afines para la obtención de parámetros de producción comercial.

3.3. Objetivos específicos

- a)** Caracterizar anatómicamente las fibras de individuos de *Astrocaryum chambira* en relación a su estructura foliar, comparándolas con las fibras de tres especies: *A. jauari*, *A. standleyanum* y *A. perangustatum*.
- b)** Determinar la calidad comercial de la fibra foliar de individuos de *Astrocaryum chambira*, a través de la caracterización de sus propiedades físico-químicas.
- c)** Determinar el estadio foliar adecuado para la extracción de fibras de calidad comercial en individuos de *Astrocaryum chambira*.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Áreas de estudio

Las especies de *Astrocaryum* evaluadas son procedentes de diferentes localidades de la Selva Amazónica, Yamayakat, Amazonas y Santa Luz, Ucayali (*Astrocaryum chambira*), Iquitos (*A. jauari*), Pozuzo (*A. perangustatum*) y Puerto Quito, Ecuador (*A. standleyanum*).

a) Comunidad nativa de Yamayakat

Esta comunidad se encuentra ubicada a orillas del río Marañón, en el distrito de Imaza, provincia de Bagua, región de Amazonas (05°03'19,75"S 78°20'11,25"O) (Figuras 1, 2). El área está conformada por bosques secundarios de tierra firme, con presencia de áreas de cultivo y pequeñas áreas de bosque húmedo tropical primario, con un rango de altura de 350 a 1400 m.s.n.m., temperatura promedio anual de 25,1° C y 1400 mm de precipitación media anual.

Cuenta con una población nativa aproximada de 350 personas, siendo la principal actividad económica la agricultura, con los cultivos de plátano, yuca y cacao (*Musa paradisiaca*, *Manihot esculenta* y *Theobroma cacao* respectivamente). El grupo nativo pertenece a la familia Aguajuna-Huambisa, etnia profundamente arraigada con el conocimiento ancestral de los recursos vegetales de su entorno (Varese et al. 1970; Berlín & Berlín 1979).

b) Caserío de Santa Luz

La localidad está ubicada a orillas del río Abujao, a 57 Km de la ciudad de Pucallpa, en el distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo, región de Ucayali, (08°46'11"S, 74°15'95"W) (Figuras 1, 3). La zona corresponde al bosque húmedo tropical con una vegetación conformada por bosques de tipo secundario, temporalmente inundables, con escasas especies maderables.

El suelo es principalmente de tipo arcilloso a franco arenoso; la altura es de 149 m.s.n.m., la temperatura promedio anual es de 24° C y 4000-4500 mm de precipitación media anual. Cuenta con una población mestiza conformada por 160 personas. La agricultura que se práctica es de subsistencia y la principal actividad económica es el cultivo de la coca (*Eritroxylum coca*).

c) Ribera del río Nanay

La zona de colecta está ubicada en la margen derecha del río Nanay, cerca del puerto de Bellavista (73°15'28", 3°41'46"S), en la ciudad de Iquitos, provincia de Maynas, región Loreto (Figuras 1,4). La zona corresponde a la formación del bosque húmedo tropical, se encuentra a una altura de 95 m.s.n.m, la temperatura promedio anual es de 27° C y presenta 2542 mm de precipitación media anual.

d) Distrito de Pozuzo

El área de colecta está ubicada en la cercanía de Pozuzo, valle del río Huancabamba (77°52'30"W, 10°18'30"S), provincia de Oxapampa, región de Pasco (Figuras 1, 5); la zona corresponde a la formación de bosque húmedo tropical, está conformada por áreas abiertas del bosque pre-montano secundario, tiene un rango de altura que va desde los 250 a 600 m.s.n.m, distribuidas en la vertiente oriental de la cordillera de los Andes, en la región denominada de Selva Central; la temperatura media anual es de 25,5°C y la precipitación media anual es de 2379 mm. Cuenta

con una población de ascendencia europea que práctica principalmente la agricultura básica y una ganadería incipiente.

e) Ciudad de Puerto Quito (Ecuador)

El área de colecta está ubicado en el Noroccidente de la Provincia de Pichincha (00°07'00"N, 79°16'00"W), al Norte de Ecuador (Figura 1). Está conformada por los declives exteriores de la cordillera occidental de los Andes, con suelos franco-arcillosos, en una formación de bosque húmedo tropical, a una altura de 150 m.s.n.m; la temperatura media anual es de 24,8°C y las precipitaciones en promedio están entre 200 y 1000 mm al año.

4.2. Especies estudiadas

a) *Astrocaryum chambira*, “chambira”

Es una palmera monocaule de tallo hasta 30 m de alto y 25-40 cm de diámetro; densamente armado de agujones negros, de hasta 20 cm de longitud, dispuestos en anillos; 9-16 hojas pinnaticompuestas y 120-175 pinnas por lado, orientadas en diversas direcciones a partir del raquis, de cara adaxial verde y cara abaxial glauca, con agujones pequeños en los márgenes; pinnas mediales de 119-173 cm de longitud y 3-6 cm de ancho. *Astrocaryum chambira* es una especie monoica de inflorescencias erguidas de numerosas raquillas en triadas con flores pistiladas sésiles y flores estaminadas (Figura 6). Fruto obovado a subgloboso, de 6-7 cm de longitud, epicarpio piloso amarillento y mesocarpio fibroso. Crece en los bosques primarios y secundarios de tierra firme, al norte de la Amazonía peruana (Kahn & Millán 1992; Millán 2009) y en Ecuador y Colombia.

b) *Astrocaryum jauari*, “huiririma”

Es una palmera cespitosa, tallo de hasta 20 m de altura y 25 cm de diámetro; densamente armado con aguijones de hasta 10 cm de largo, dispuestos en anillos. De 8 a 15 hojas verdes pinnaticompuestas y 165 pinnas por lado, orientadas en varias direcciones desde el raquis (Figura 7); pinnas mediales de 90-140 cm de longitud y 2,4-4,4 cm de ancho. Inflorescencias erguidas y raquillas con numerosas flores pistiladas en la parte proximal. Fruto anaranjado de forma ovoide con 3-4 cm de longitud (Millán 2009).

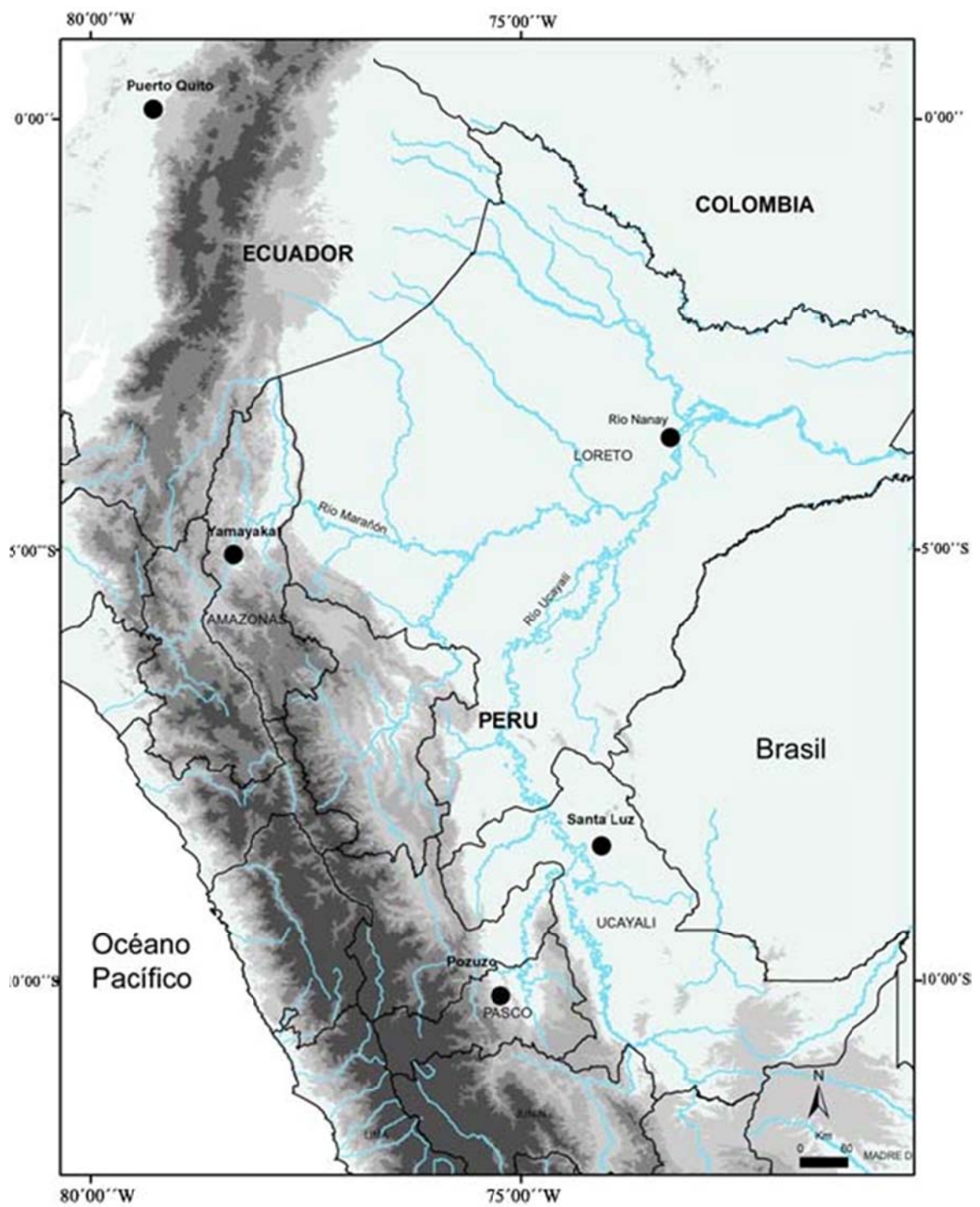
Es una especie rupícola, que crece en las márgenes de los ríos inundadas periódicamente por las crecientes de los ríos en toda la cuenca amazónica y está fisiológicamente adaptada a ese tipo de ambiente (Schluter & Joly 1993). La extracción y uso de hoja de palmera es preferentemente a partir del raquis y es de menor importancia económica en la región (Mejía 1988; Holm & Balslev 1995).

c) *Astrocaryum standleyanum*, “mocora”

Es una palmera solitaria de tamaño medio, 8-15 m de altura y 16-22 cm de diámetro. Presenta en el tallo aguijones aplanados densamente dispuestos en anillos, de hasta 25 cm de largo. Las hojas son de color verde oscuro en la cara adaxial y blanquecinas en la cara abaxial; pinnaticompuestas, en número de 11-20, dispuestas horizontalmente con una ligera curva, de 3-7 m de longitud y con 80-124 pinnas por lado insertas irregularmente en diferentes planos (Figura 8); pinnas mediales de 110-150 cm de largo y 5-7 cm de ancho. Inflorescencia erecta, péndulas al madurar los frutos. Estos son de formas obovoides a piriformes, de 3-6 cm de diámetro, de mesocarpio carnoso de color naranja. Esta especie crece en los bosques y tierras bajas de la costa del Pacífico, desde Costa Rica hasta Ecuador (Borgtoft Pedersen 1994; Velásquez 2001; Millán 2009).

d) *Astrocaryum perangustatum*, “huicungo”

Palmera monocaule mediana de hasta 15 m de altura y 20-30 cm de diámetro, 8-14 hojas pinnaticompuestas, 117-190 cm de longitud con 92-110 pinnas por lado, orientadas regularmente en un plano (Figura 9); pinnas mediales de 117-132 cm de longitud, de cara abaxial satinada; densamente armada con aguijones aplanados de 4-6 cm de longitud. Inflorescencias con una sola flor pistilada inserta en la base. Fruto turbinado a elipsoidal, de 7,1 – 8,7 cm, epicarpio recubierto de aguijones marrones y mesocarpio carnososo, de color marrón. Esta especie es frecuente en áreas abiertas y bosques en pendiente secundarios de la zona central y sudeste del Perú, en los valles de Palcazú, Pichis y Perené (Kahn et al. 2011).



ragua.



onas.



Foto de



ari en el



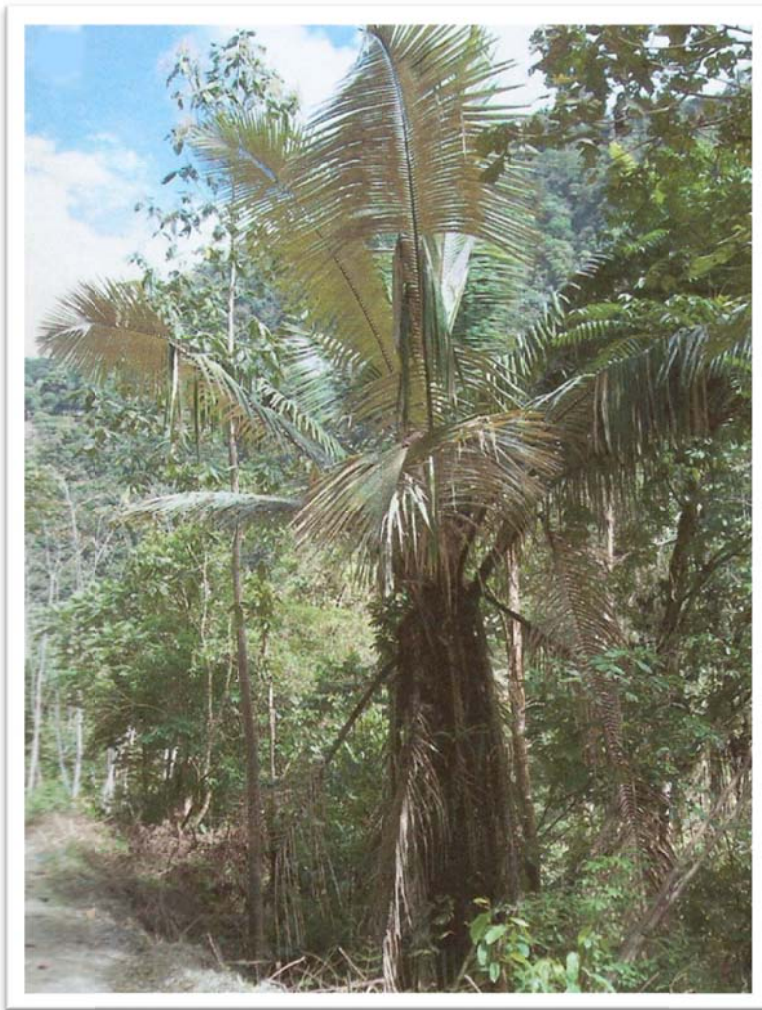




Marín



de J.C.



4.3. Colecta del material botánico

4.3.1. Obtención de las fibras comerciales

Se procedió con las siguientes etapas en la obtención de las hojas y las fibras de carácter comercial en *Astrocaryum chambira* y *A. jauari*:

a) Elección de la planta

Hasta 6 individuos, entre juveniles (aquellos de tallo no formado) y/o adultos (aquellos de tallo formado y altura prominente), con rangos de altura de 5 a 16 m y de 4 a 14 hojas, se eligieron para el estudio en ambas zonas en estudio (Figura 10). La obtención de las fibras es a partir del cogollo, la hoja no abierta, ubicada en el centro de la corona de hojas; ésta tiene una forma lanceolada, está protegida por un fuerte recubrimiento del raquis y el lado abaxial de la hoja y alcanza los 4 m longitud (Figura 11). Cogollos de menor longitud se consideraron inmaduros para la obtención de las fibras.

b) Colecta de las hojas no abiertas (cogollos)

Los cogollos se extrajeron mediante torsión y quebrado mecánico empleando pértigas de madera confeccionadas con los tallos de arbustos cercanos, el procedimiento se realiza sin lastimar el meristemo apical del tallo.

c) Separación de pinnas

Una vez abierto el cogollo sólo las pinnas centrales más largas y anchas, fueron convenientemente extraídas, separadas y conservadas temporalmente en un lugar fresco (Figura 12 A).

d) Extracción de las fibras

Las pinnas obtenidas se cortan en dos mitades para luego en cada una ellas practicar un fino movimiento mecánico de modo que se separe sólo la parte superior

(Figura 12 B). Posteriormente se apilan en cordeles hasta terminar el proceso de extracción.

4.3.2. Procesamiento de las fibras

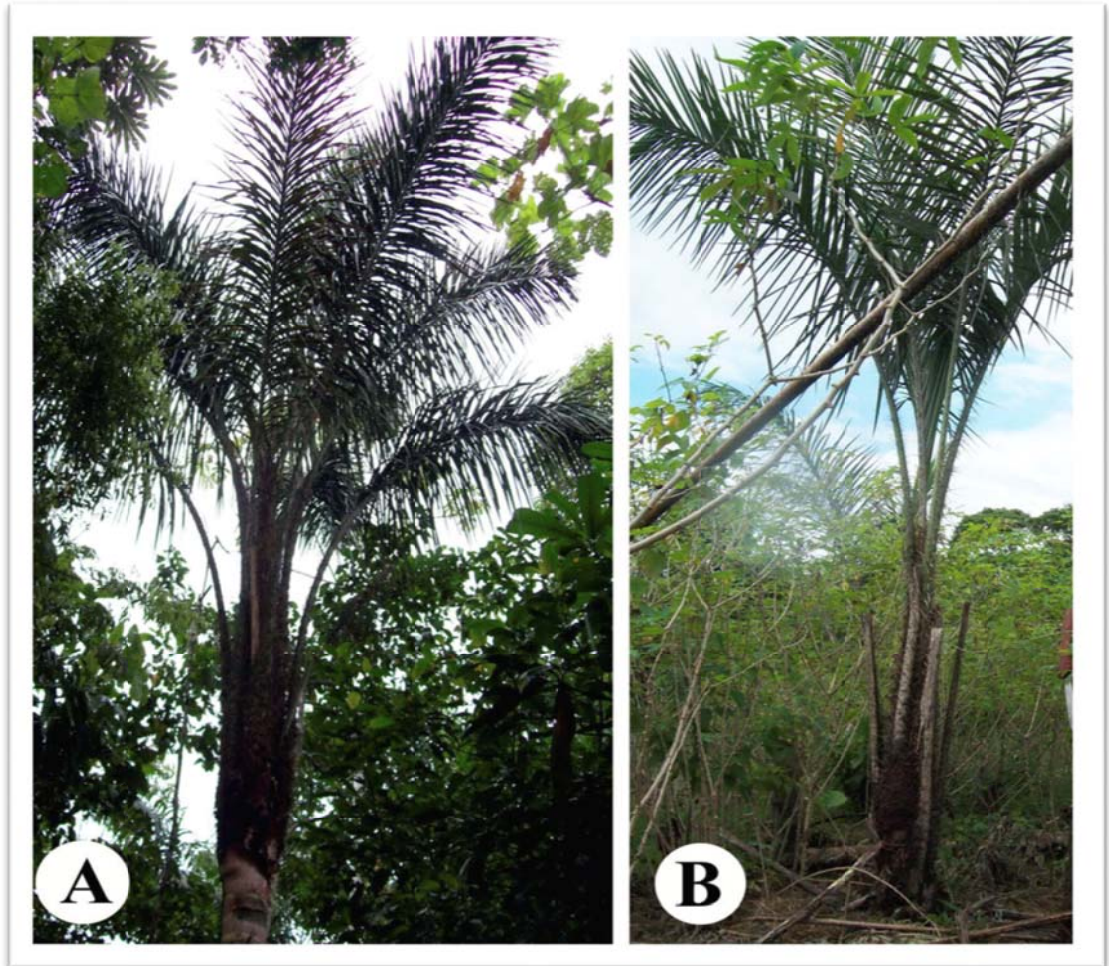
I. Hervido y lavado

Las tiras se hierven en agua y jabón por 40 minutos para luego enjuagarlas en agua (Figuras 13 A y B).

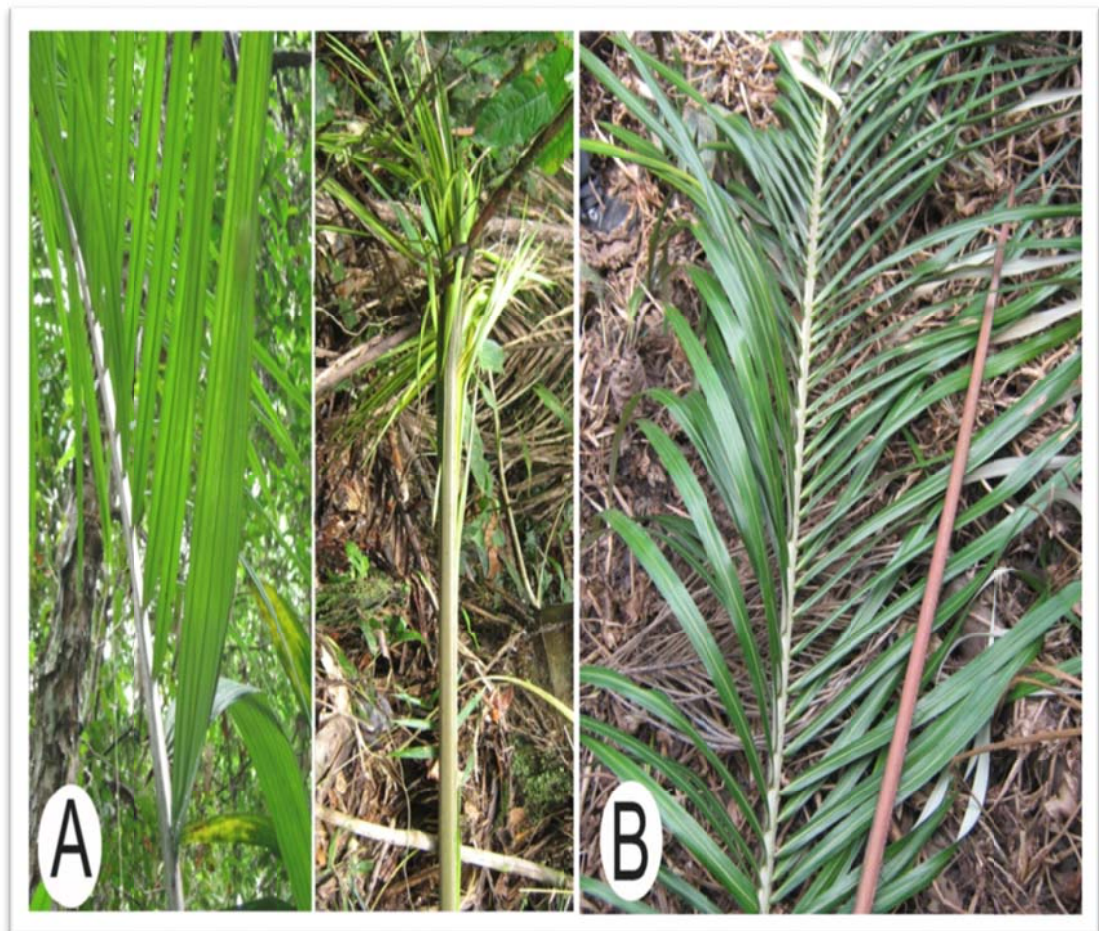
II. Secado y trenzado

Las fibras lavadas son puestas a secar al sol por 24 horas (Figura 14 A). Para la elaboración de las fibras comerciales propiamente dichas, se entrelazan las tiras obtenidas por pares. La longitud que pueden alcanzar es variable y está en función de nuevas tiras que se entrelacen; el grosor alcanzado está en función de sucesivas tiras que se adhieran a las ya obtenidas. En esta etapa diversos colorantes naturales se emplean para la tinción de las tiras previas al trenzado (Figura 14 B).

Los principales artículos que se elaboran a partir de estas fibras comprenden las shicras, hamacas y redes de pesca (Figura 15).



ar



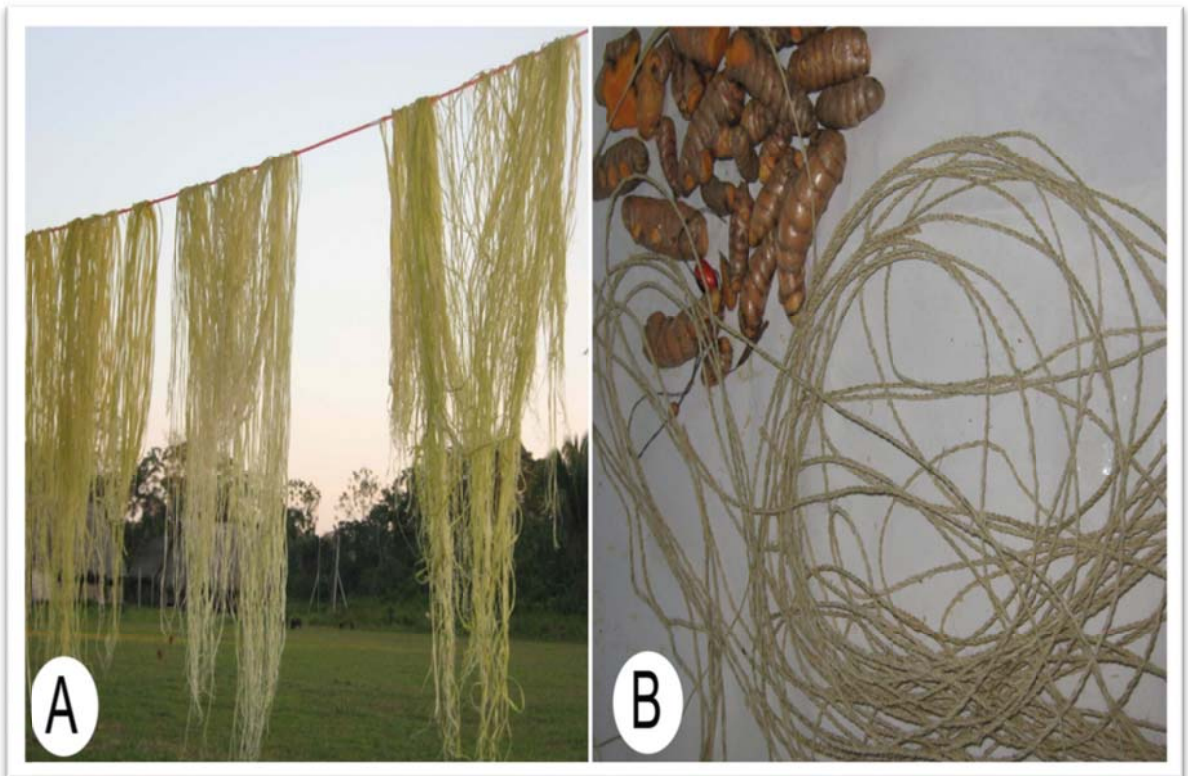
roja no
bierta y



cción de
1. Marín



o de las





4.3.3. Colecta de hojas abiertas

Se colectaron las hojas abiertas basales de individuos juveniles y/o adultos de *Astrocaryum chambira*, *A. jauari*, *A. standleyanum* y *A. perangustatum*, a los que se le extrajeron sólo las pinnas centrales (en número de 10). Estas fueron cortadas en secciones de 1 cm en la parte media y se fijaron en FAA (formaldehído, ácido acético glacial y etanol 10:5:50) para el estudio anatómico.

4.3.4. Colecta de hojas no abiertas

Se colectaron las hojas no abiertas (cogollos) de individuos juveniles y/o adultos de *Astrocaryum chambira*, *A. jauari*, *A. perangustatum* y *A. standleyanum*, a los que se le extrajeron sólo las pinnas centrales. Estas fueron cortadas de la parte media en secciones de 1 cm y se fijaron en FAA para el estudio anatómico.

4.3.5. Fijación de fibras comerciales

Porciones centrales de las fibras obtenidas fueron fijadas en FAA para su estudio anatómico; una parte fue conservada en etanol 70% para el estudio físico y químico y una muestra representativa fue fijada en glutaraldehído 1% y mantenida a 5°C para su estudio en microscopía electrónica.

4.4. Estudio anatómico

a) Cortes a mano alzada

Las secciones de 1 cm de las pinnas centrales de las hojas no abiertas y abiertas, a nivel medio de la lámina, fueron cortadas transversalmente a mano alzada, aclaradas en hipoclorito de sodio, blanqueadas en hidrato de cloral 5%, lavadas y luego teñidas en safranina 1%, con montaje temporal en gelatina glicerada (D'ambrogio 1996).

b) Cortes a micrótopo

Secciones fijadas de 0,5 cm de las pinnas centrales de las hojas no abiertas y abiertas, a nivel medio de la lámina, se sometieron a una batería de deshidratación en etanoles ascendente, diafanizados en xilol y embebidos en *Paraplast*®, todos ellos en una escala graduada de tiempos (ver anexo); los bloques de parafina, tallados, fueron cortados a 18 micrómetros en micrótopo rotativo *Leica* ; se empleó la tinción safranina – verde rápido, ambos al 1%, para teñir los cortes seriados y el montaje permanente en *Entellán*® (D'ambrogio 1996).

c) Cortes semifinos y ultrafinos de hojas

Para la observación de la ultraestructura de las fibras en microscopía electrónica de transmisión, un total de 10 muestras fueron procesadas en el Laboratorio de Microscopía Electrónica del Instituto de Patología, Facultad de Medicina, UNMSM (Sede Hospital Arzobispo Loayza) y en la Facultad de Física, Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Se definieron las siguientes etapas:

i. Fijación primaria

De secciones de 0,3 cm de pinnas centrales de hojas no abiertas y abiertas, a nivel medio del limbo, en 3 ml glutaraldehído 2,5% en buffer fosfato 0,1 M, pH 7,2, todo a 4°C.

ii. Lavado I

En buffer fosfato 0,1 M, pH 7,2 por espacio de 8 horas.

iii. Posfijación

Por inmersión en tetróxido de osmio 1% en buffer fosfato 0,1 M pH 7,2 por 12 horas, todo a 4° C.

iv. Lavado II

Las muestras se lavaron en buffer fosfato 0,1 M, pH 7,2 por 3 veces por espacio de 10 minutos cada uno.

v. Deshidratación

Se realizó en una batería de etanoles de concentración ascendente, desde etanol 30% a etanol absoluto con incrementos de 10% y 30 minutos en cada paso. Terminando la deshidratación con acetona absoluta, en 2 cambios de 30 minutos cada uno.

vi. Infiltración

En pasos sucesivos de una mezcla de acetona y resina *Durcopan*®, 1:3 por dos horas, 1:1 toda la noche y 3:1 por 2 horas, luego una noche en resina pura y otra fresca por dos horas.

vii. Embebido

De las muestras en resina *Durcopan*®, en moldes de polietileno debidamente orientadas para realizar las secciones transversales, luego se polimerizaron en estufa a 60 C° por 48 h.

viii. Cortes a ultramicrotomo

Previo tallado de los bloques, se obtuvieron cortes semi finos en el ultra micrótopo *Porter Blum MT1*, a un micrómetro de grosor, los que se tiñeron con azul de toluidina para su observación al microscopio de luz y localización de las zonas de interés. Luego las zonas escogidas fueron nuevamente talladas y cortadas a 90 nm de grosor en un ultramicrotomo *Porter Blum MT2*, los cortes ultrafinos obtenidos se recogieron en una rejilla de cobre y luego se impregnaron con acetato de uranilo y

citrato de plomo para la observación al microscopio electrónico de transmisión (Ancheta et al. 1996).

d) Macerado de hojas

Secciones de 1 cm de las pinnas de hojas no abiertas y abiertas fueron decolorados en etanol 96% a una temperatura de 80°C, luego maceradas en una solución hidroalcohólica de hidróxido de sodio 5% y sometidas a ebullición por 20 minutos, lavados en agua, aclarados con hipoclorito de sodio concentrado y diafanizados en hidrato de cloral 5%; posteriormente fueron desmenuzados en un tubo de ensayo con una varilla de vidrio y teñidos en safranina 1% para luego realizar montajes temporales en gelatina glicerada (Adaptado de D'ambrogio 1996 y Rasheed & Dasti 2003).

e) Pruebas microquímicas en hojas

Se realizaron cortes transversales de muestras fijadas de hojas abiertas y no abiertas y se ensayaron las pruebas de reconocimiento microquímico de lignina mediante la prueba de floroglucinol 1%, en la cual los cortes histológicos se sumergen en una solución del reactivo más la adición de ácido clorhídrico 2N; los tejidos de paredes secundarias lignificadas reaccionan positivamente con una coloración rosado intenso y la prueba de cloroyoduro de zinc, en la cual los cortes histológicos se sumergen en el reactivo del mismo nombre y se adiciona unas gotas de ácido sulfúrico concentrado; los tejidos de paredes celulósicas reaccionan positivamente en una gama de colores violáceos a azulados.

4.5. Determinación del contenido de lignina y celulosa

Muestras secas de fibras comerciales y las pinnas de hojas abiertas y no abiertas de *Astrocaryum chambira*, fueron sometidos a la extracción y cuantificación de

lignina y celulosa, en el laboratorio N°12 de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería, según los protocolos de la Asociación Técnica de la Industria de la Pulpa y el Papel (TAPPI, Technical Association of the Pulp and Paper Industry). Las muestras se maceraron previamente en una mezcla de etanol-benceno 1:2 para la liberación de extractivos (TAPPI 1978).

a) Cuantificación de lignina

Muestras secas de 1 g de hojas abiertas y no abiertas, libre de extractivos, fueron hidrolizados con 15 ml de ácido sulfúrico al 72%, en agitación en baño maría a 20°C por 2 horas; después se transfirió a un matraz con agua destilada (500-400 ml), se enjuagó y diluyó con agua hasta alcanzar una concentración de ácido del 3% y un volumen de 575 ml. Posteriormente se hirvió a reflujo por 4 horas. La solución se decantó separando el material sedimentado, se filtró a través de un crisol tipo *Gooch* de porosidad fina, se lavó con agua caliente y se secó a 105°C hasta alcanzar un peso constante. La determinación de lignina se llevó a cabo bajo la norma TAPPI T 222 os-74 mediante la fórmula:

$$\% \text{ lignina} = (\text{Peso de lignina}) / \text{Peso anhidro de la muestra}) \times 100$$

b) Cuantificación de celulosa

Muestras secas de 5 g de hojas abiertas y no abiertas, libre de extractivos, fueron sometidos a una maceración en 100 ml de hidróxido de sodio 17,5% por 60 minutos a 25°C. Posteriormente se filtró a través de un crisol de porosidad media. En un matraz de 250 ml se tomaron 25 ml de la solución filtrada y 10 ml de dicromato de potasio 0,5 N y se le agregó 50 ml de ácido sulfúrico concentrado, se dejó calentar por 15 minutos, para después agregar 50 ml de agua y dejar enfriarse

a temperatura ambiente. Se le agregaron de 3 a 4 gotas de indicador de ferroína y se tituló con una solución de sulfato de amonio ferroso 0,1 N hasta desarrollo de color púrpura. Una titulación en blanco se llevó a cabo con 12,5 ml de hidróxido de sodio 17,5% y 12,5 ml de agua. La determinación de celulosa se llevó a cabo de acuerdo con la norma TAPPI T 203 os-74, según la siguiente fórmula:

$$\% \alpha\text{-celulosa: } 100 - 6,85 (V_2 - V_1) \times N \times 20 / V_3 P_m$$

Dónde:

V_1 = volumen de la titulación de la muestra

V_2 = volumen de la titulación en blanco

V_3 = volumen de la solución

P_m = peso anhidro de la muestra

N = normalidad exacta del sulfato de amonio ferroso.

4.6. Determinación de las propiedades físicas de la fibra comercial

Seis muestras de fibras comerciales de *Astrocaryum chambira* (M1-M6), cinco muestras de fibras extraídas de hojas no abiertas de *A. jauari* (M1-M5), más una muestra de la fibra trenzada de *A. chambira* (M7), procedentes de las localidades en estudio, se sometieron a las siguientes pruebas físicas según los protocolos de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM, American Society for Testing and Materials) en el laboratorio N°12 de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería (Anexos 7-9):

a) Ensayo de tracción

Es el valor que expresa la mayor o menor resistencia de un material a romperse por tracción, es adaptada de la norma ASTM D 2256 (ASTM 1993) utilizando un

máquina de tracción universal *Alfred J. Amsler y Cía*, modelo 46/224 y es expresado en kg/mm^2 (Anexo 5; Figura 16). Para facilitar su comparación con la literatura este valor se expresa en Giga Pascal (GPa).

b) Densidad

Determinado por el método gravimétrico, es adaptada de la norma ASTM D 143 (ASTM 1993) y se expresa en g/cm^3 (Anexo 6, Figura 17).

c) Espesor promedio

El espesor de la fibra es medido en un vernier digital calibrado marca *Mitutoyo*, modelo CD-62BS y se expresa en décimas de milímetro (Anexos 7 y 9).

4.7. Inventario poblacional de *Astrocaryum chambira*

Debido a la mayor importancia que presenta la explotación de la fibra comercial de *Astrocaryum chambira* con respecto a las otras especies de palmeras evaluadas, se realizó el inventario de la población de esta especie en las zonas de colecta de Yamayakat y Santa Luz, registrándose la cantidad de individuos presentes y su estructura poblacional, para el establecimiento posterior de parcelas de seguimiento permanente de esta especie (Figura 18).

a) Inventario poblacional

Se realizó mediante el trazado de 11 transectos de 200 metros en cada zona de colecta. Sobre ellos, transectos de 50 m perpendiculares a la línea base fueron establecidos cada 20 metros. En ellos se contabilizó el número de individuos y se identificó el área con mayor densidad poblacional.

b) Estructura poblacional

Para evaluar la estructura poblacional de *Astrocaryum chambira*, en la localidad de Santa Luz, se establecieron parcelas permanentes de 20 x 100 m según el método modificado de Gentry (Gentry 1982), evaluando en ellos el número de individuos en

sus diferentes estadios (plántula, juvenil y adulto). Estas parcelas fueron ubicadas y enumeradas progresivamente desde el centro poblado hacia el interior del bosque. Adicionalmente, como parte del trabajo de campo, se registraron los datos morfométricos asociados a la producción de la fibra comercial: longitud de la fibra, longitud, número y cantidad de pinnas empleadas.

4.8. Parámetros biométricos, muestreo y tratamiento estadístico

a) Parámetros biométricos:

En el estudio anatómico de las especies, según la técnica empleada y el estadio de desarrollo foliar, se registraron las siguientes variables en micrómetros (excepto en vii y viii), con su media y desviación estándar:

Macerados foliares

- i. Longitud y ancho de las fibras no vasculares.
- ii. Longitud y ancho de fibras vasculares.

Secciones transversales

- iii. Espesor de la lámina
- iv. Espesor de la hipodermis
- v. Longitud de paquetes de fibras adaxiales
- vi. Longitud de paquetes de fibras abaxiales
- vii. Número de fibras por paquete,
- viii. Número de paquetes de fibras adaxiales (por 1 mm de hoja).

Las observaciones y mediciones de los cortes transversales de las hojas y fibras foliares procedentes de los macerados se realizaron a 100 y 400 aumentos en microscopio compuesto *Leica EM50* y las imágenes digitales de los mismos fueron tomadas en microscopio compuesto *Leica ICC50* con cámara digital incorporada, en el laboratorio de Anatomía y Sistemática Vegetal del Museo de Historia Natural, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, UNMSM.

Las observaciones y microfotografías de las fibras en luz polarizada se realizaron en un microscopio binocular *Leitz* a 100, 250 y 400 aumentos, en el Laboratorio de Microscopia de la Facultad de Ingeniería Geológica, UNMSM.

Los cortes ultrafinos de las fibras foliares fueron observados con el microscopio electrónico de transmisión *Philips 300* y fotografiados con película de 35 mm *Kodak ASA 100*. Todas las microfotografías digitales fueron procesadas con el software *Leica Application Suite, Lasez*® versión 2.0 de *Leica Microsystems Limited*. En la Figura 19 se sistematiza la secuencia de procedimientos seguidos en la parte experimental.

b) Muestreo y tratamiento estadístico:

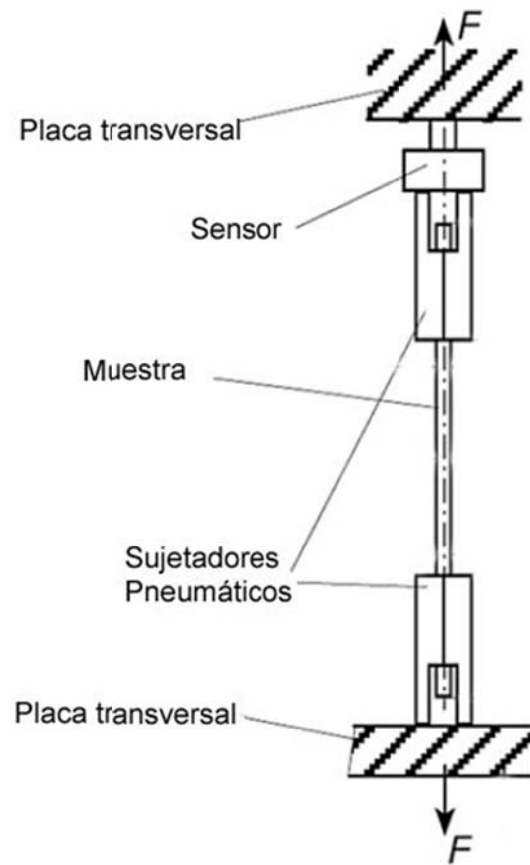
Se realizaron 10 mediciones por triplicado en las secciones transversales de las hojas y 30 mediciones por triplicado en el caso de los macerados de fibras foliares, todo ello para las cuatro especies según el estadio de desarrollo foliar, siguiendo un modelo factorial completamente aleatorio.

4.9. Análisis de los resultados:

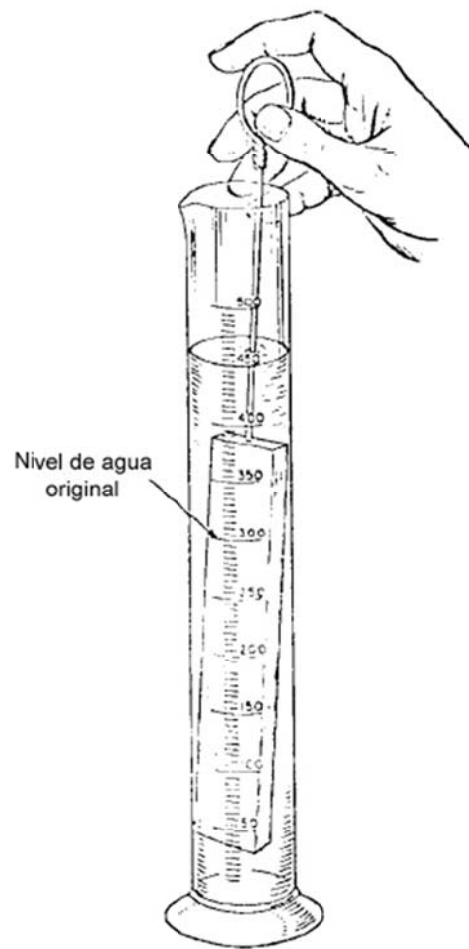
Se realizó un análisis multivariado, con el empleo de:

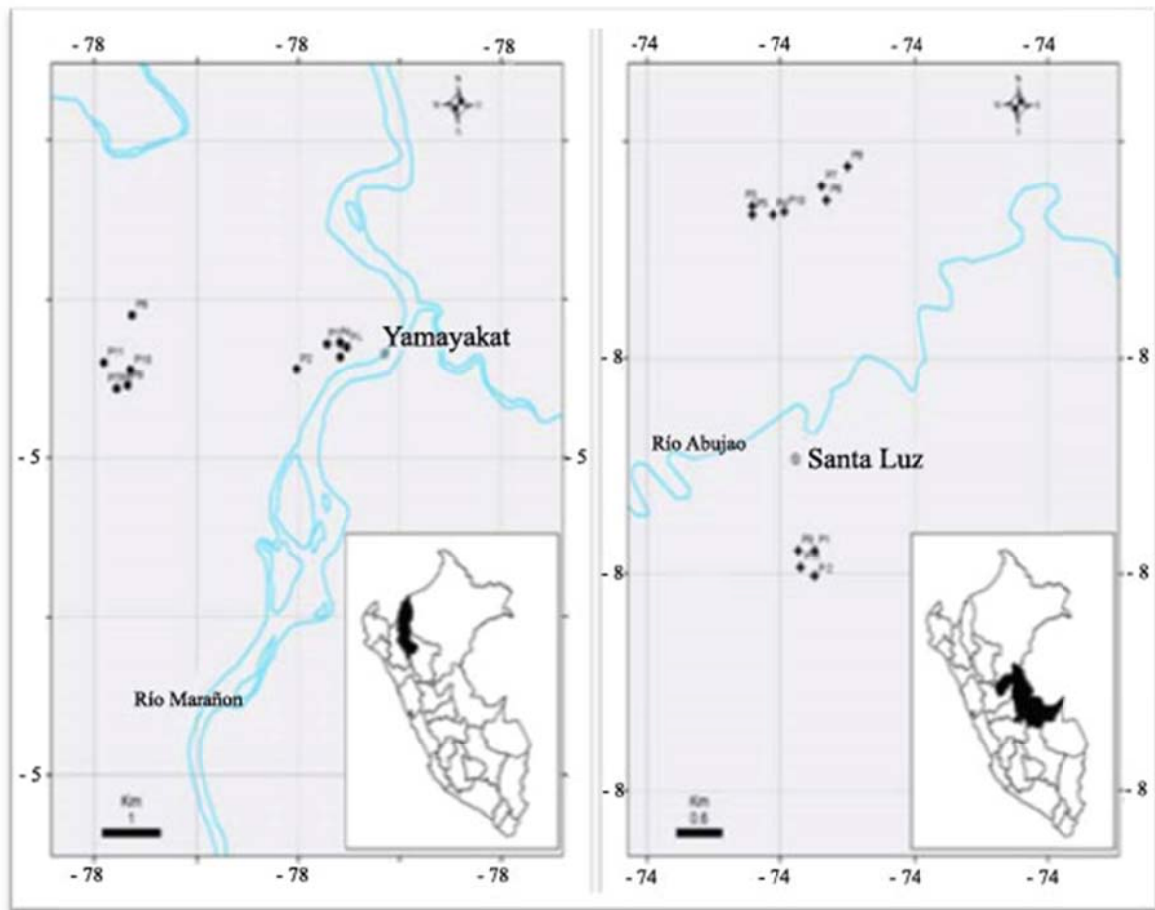
- a) el análisis de correlaciones bivariadas, que permite medir el grado de dependencia existente entre las variables empleadas en las especies evaluadas, mediante la cuantificación del coeficiente de correlación lineal de Pearson y poder determinar de esta manera las variables de interés,
- b) el análisis de correlación para medir la dependencia de las fibras foliares de las especies evaluadas y el tipo de estadio foliar, conjuntamente con,
- c) el análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias de las variables por Tukey,

d) la prueba t de student, para la comparación de medias de las fibras foliares de chambira en las 2 localidades en estudio mediante el programa SPSS 11.0. (SPSS inc. 2001).



ner





ambira
a Luz,

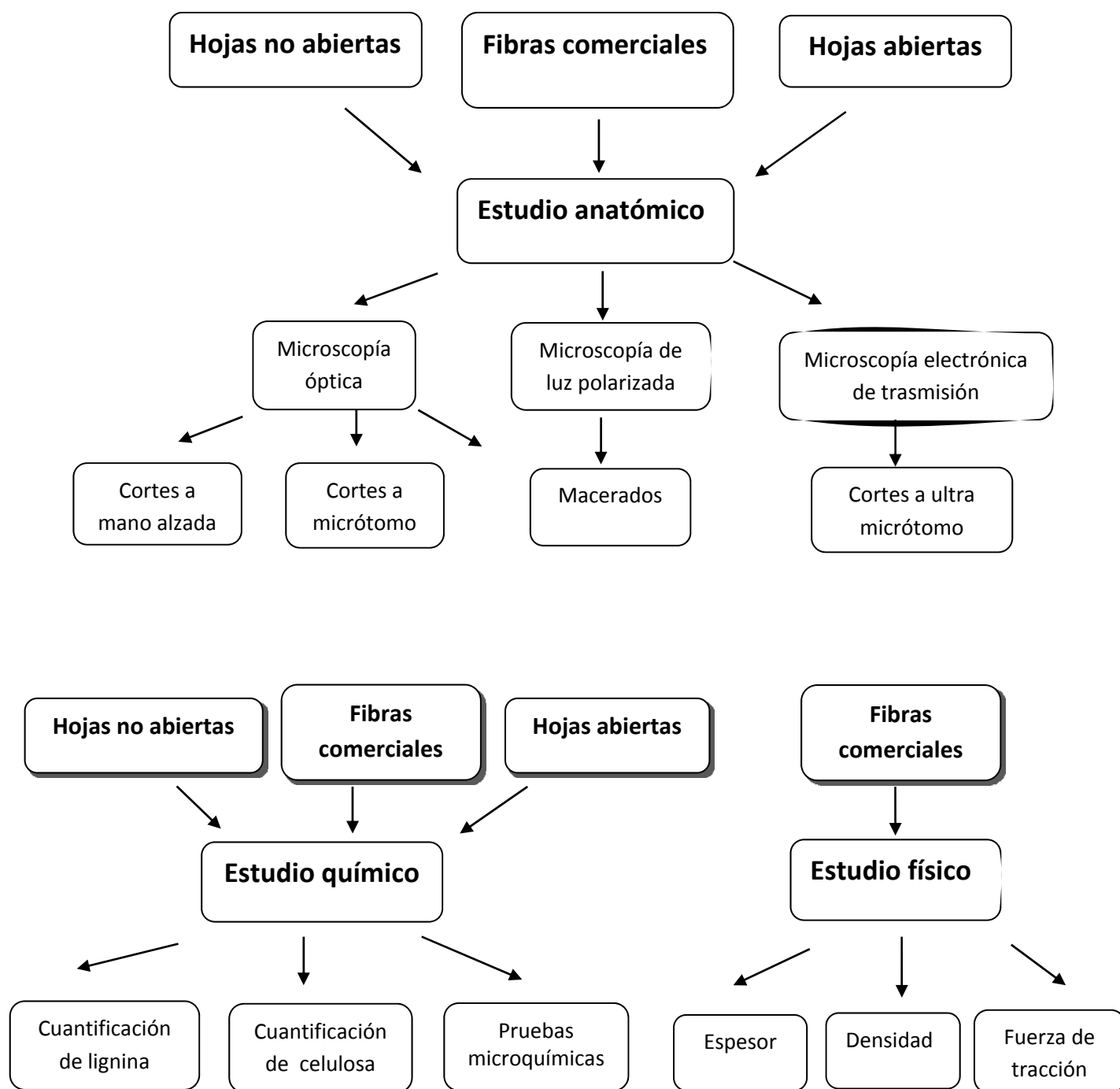


Figura 19. Diagrama de flujo de la metodología.

V. RESULTADOS

5.1. Estudio histológico de las especies

Se presentan los caracteres del limbo foliar, en relación a las fibras, tanto de las pinnas de la hoja no abierta como de la hoja abierta, de las fibras foliares así como la morfometría de las fibras foliares en las cuatro especies evaluadas.

5.1.1. Descripción de los caracteres comunes en la estructura interna foliar

Las hojas no abiertas y las abiertas de las cuatro especies comparten en la vista transversal los siguientes caracteres (Figuras 20-27):

a) Epidermis

Células uniestratificadas de tamaño corto, forma redondeada y paredes externas cutinizadas. Células epidérmicas adaxiales de mayor tamaño que las abaxiales.

b) Hipodermis

Células uniestratificadas, incoloras, alargadas, de mayor tamaño que las epidérmicas, con las paredes internas engrosadas. Células hipodérmicas adaxiales de mayor tamaño que las abaxiales.

c) Mesófilo

Mesófilo bifacial, con 2-4 capas de parénquima en empalizada, parénquima esponjoso y varios paquetes de fibras no vasculares. Estos paquetes varían en su forma y tamaño, tienen un número variable de fibras en ellos y alternan, ya sea

con el parénquima en empalizada o con el parénquima esponjoso y los haces vasculares mayores; la distribución de estos paquetes en el mesófilo es semejante en las especies evaluadas, excepto en *Astrocaryum perangustatum*. Se pueden distinguir dos tipos de paquetes de fibras no vasculares según su posición en el mesófilo:

i. Paquetes de fibras adaxiales

Ubicados por debajo de la hipodermis adaxial, alternando con el parénquima en empalizada, de formas y tamaños variables en las especies; por lo general alcanzan un mayor diámetro y presentan un mayor número de fibras por paquete (Figuras 20A, 21A, 23A y 25A).

ii. Paquetes de fibras abaxiales

Ubicados por encima de la hipodermis abaxial, en el parénquima esponjoso, alternando con los haces vasculares menores, son por lo común de forma redondeada, de menor diámetro que los paquetes de fibras adaxiales y de menor número de fibras por paquete (Figuras 20B, 21B, 23B y 25B).

d) *Estegmatos*

Células con formación cristalina de sílice, de forma redondeada, se encuentran rodeando en forma continua a los paquetes de fibras no vasculares. También presentes en fibras vasculares. Aquellos que están envolviendo las fibras no vasculares miden 10,5 micrómetros de diámetro y son los de mayor tamaño (Figura 28).

e) *Fibras no vasculares*

Tienen forma alargada, extremos agudos, tienen un lumen reducido y son de gran longitud; presentan un brillo plateado característico y no se tiñen con la safranina.

Las paredes son fuertemente engrosadas, con abundantes punteaduras simples (Figuras 29, 31 A, B, 32 A, B, C y 33 A, C). Estas fibras están agrupadas en paquetes en un número variable desde 2 hasta 50.

f) *Fibras vasculares*

Tienen una forma alargada, paredes septadas, extremos agudos y son de corta longitud; tienen las paredes gruesas de color amarillento, un lumen amplio y se tiñen intensamente con safranina (Figuras 30, 31 A, C, 32 A, D y 33 A, B, D). Están agrupadas principalmente en los extremos superior e inferior de los haces conductores mayores y en parte del xilema. (Figuras 20-27).

A la luz polarizada ambos tipos de fibras presentan la pared celular estratificada (Figuras 34 y 35).

g) *Fibra comercial*

La fibra comercial de chambira es de forma acintada-aplanada, de color crema y con un espesor promedio de 0,19 mm; en sección transversal muestra una epidermis adaxial uniestratificada de células redondeadas, de paredes internas delgadas y cutícula delgada; hipodermis adaxial incolora de células hexagonales y paredes internas engrosadas; paquetes de fibras no vasculares de formas alargadas, separadas por 2-4 filas de parénquima en empalizada y compuestas por fibras de esclerénquima de sección poligonal, en un número variable en los paquetes, desde 2 hasta 50 fibras (Figura 36).

En la Tabla 1 se presenta la comparación de la fibra de *Astrocaryum chambira* con otras fibras de importancia económica.

5.1.2. Descripción de los caracteres diferenciales en la estructura interna foliar

Las hojas no abiertas y abiertas de las cuatro especies se diferenciaron en la vista transversal en los caracteres siguientes:

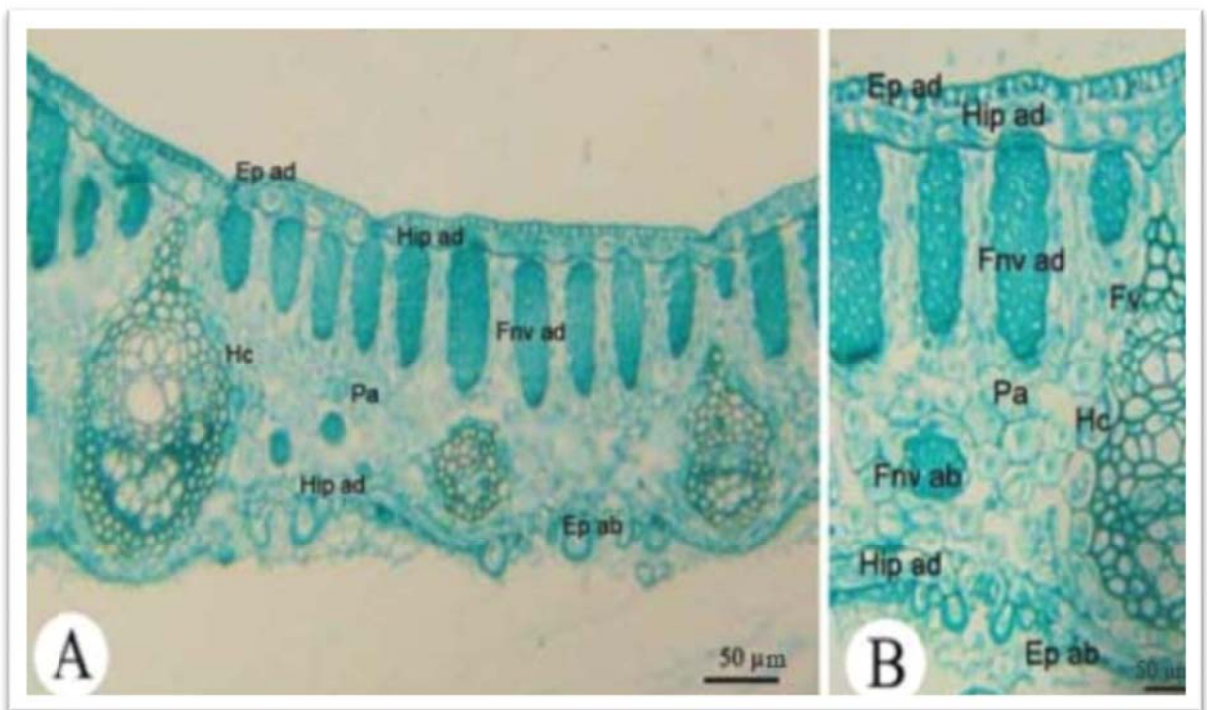
a) **Hojas no abiertas**

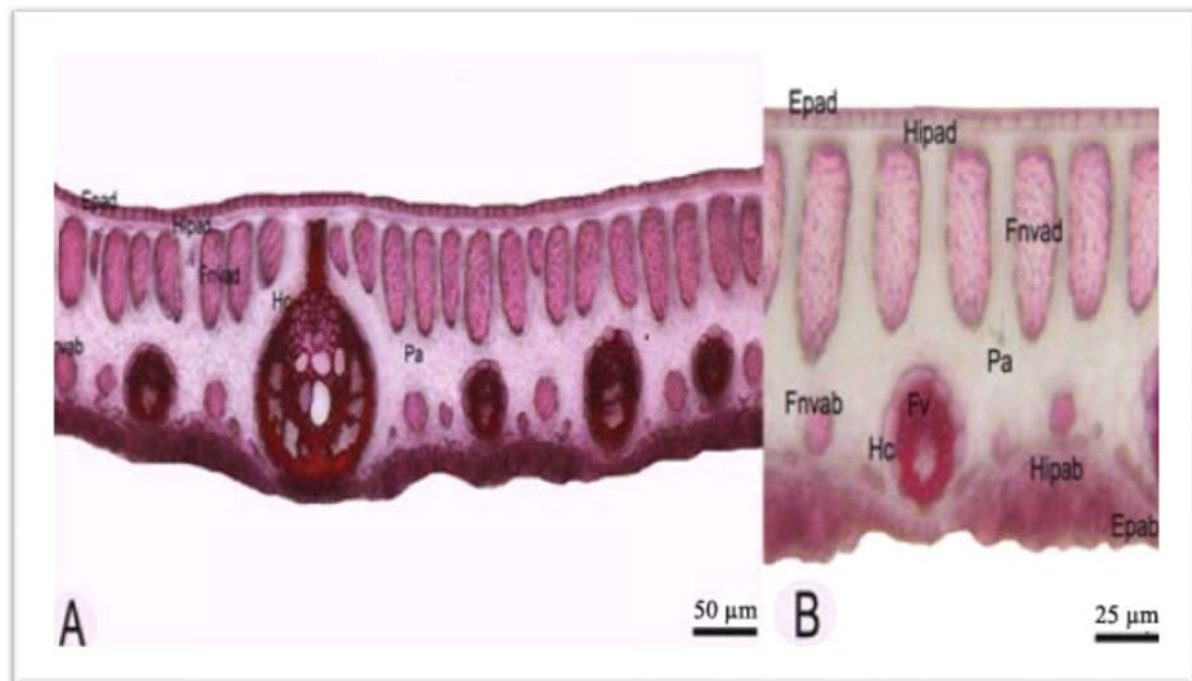
Lámina delgada, epidermis e hipodermis adaxiales con cutícula delgada y paredes internas delgadas respectivamente; mesófilo con 2-4 de capas de parénquima en empalizada; fibras no vasculares de menor longitud (excepto en *Astrocaryum perangustatum*) y paredes más delgadas. Fibras vasculares con paredes más delgadas. En los cogollos inmaduros (de menos de 3 m de longitud), las pinnas de las hojas no abiertas tienen las fibras en proceso de formación, que se reconocen por su forma irregular, amplio lumen y una pared delgada (Figura 37 A).

b) **Hojas abiertas**

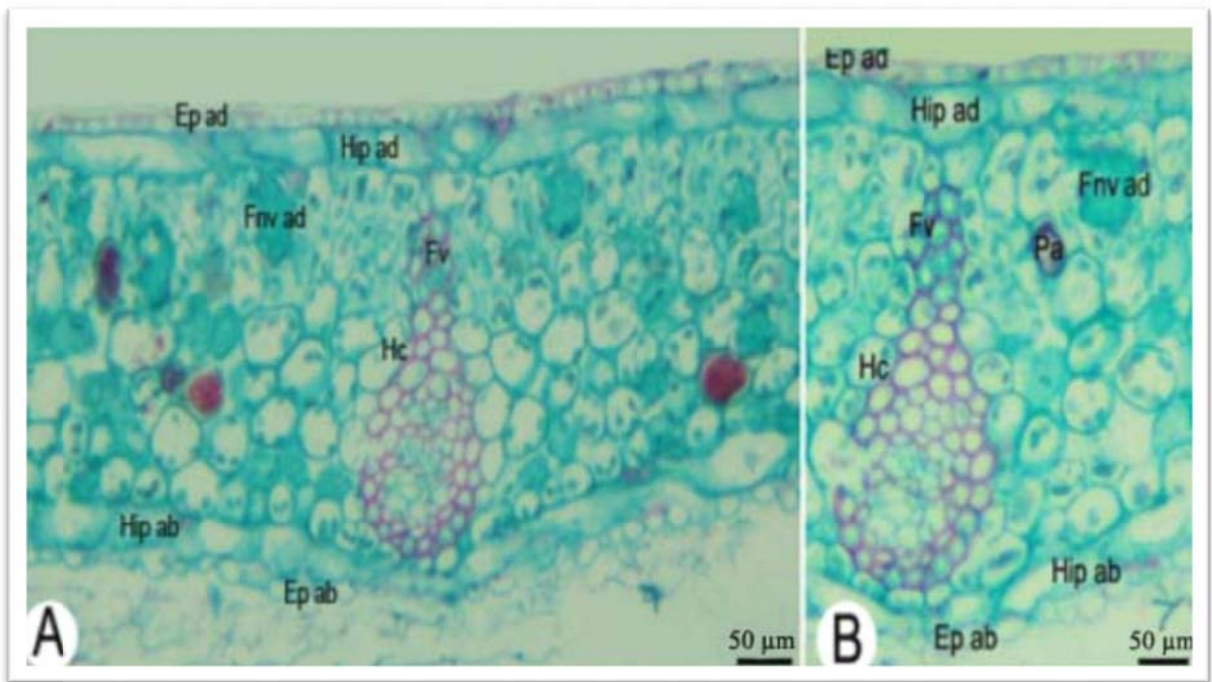
Lámina gruesa, epidermis e hipodermis adaxiales con cutícula gruesa y paredes internas engrosadas respectivamente. Mesófilo con 3-4 de capas de parénquima en empalizada. Fibras no vasculares más largas. Generalmente los paquetes de fibras no vasculares adaxiales se presentan de menor longitud que en las hojas no abiertas (Figura 38 B).

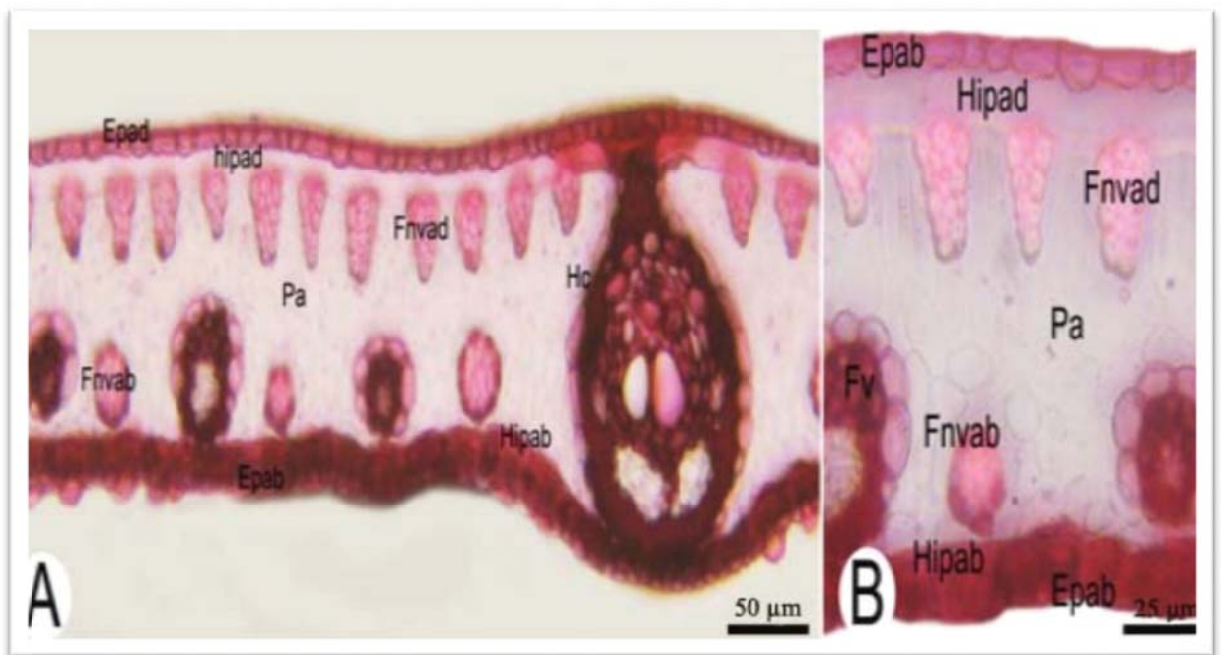
La distribución en el mesófilo de los paquetes de fibras no vasculares fueron muy similares en *Astrocaryum chambira*, *A. jauari* y *A. standleyanum* mientras que *A. perangustatum* los tuvo marcadamente diferentes (Figura 39).



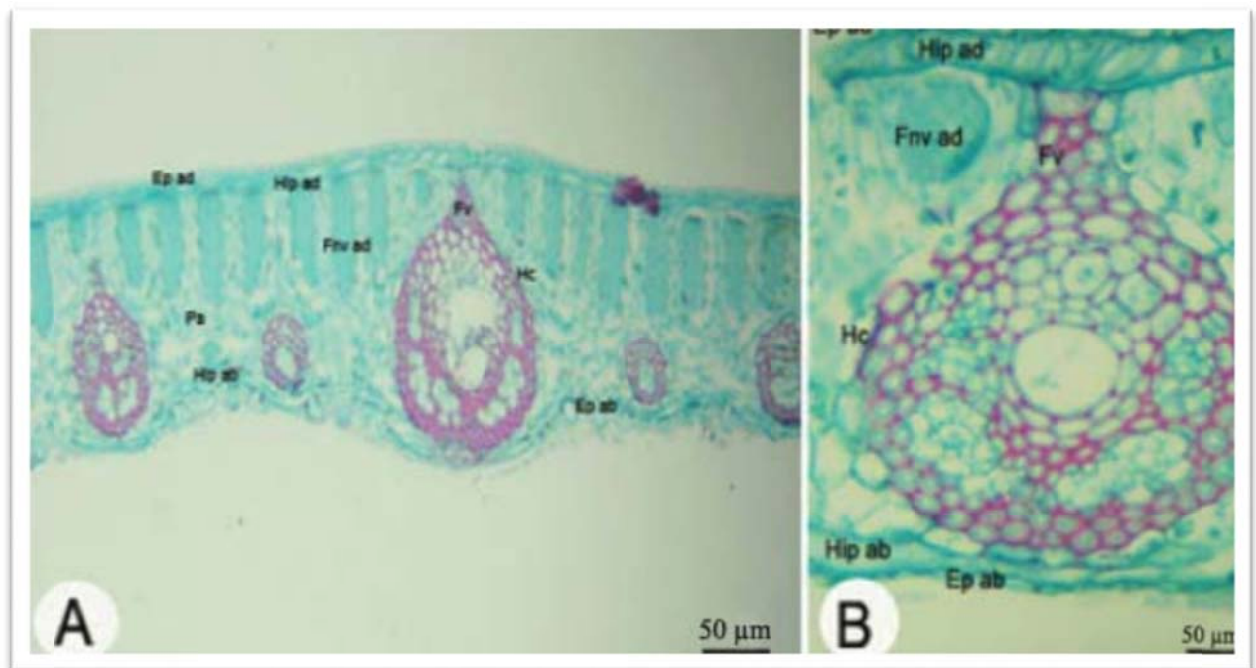


abierta.

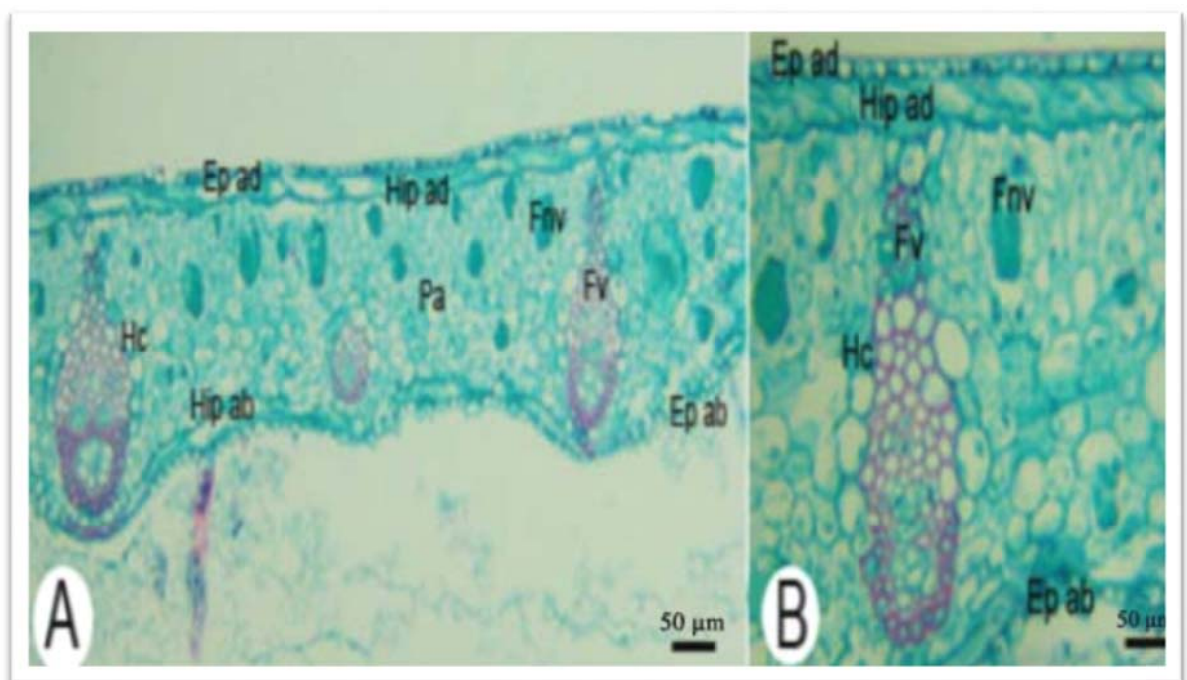




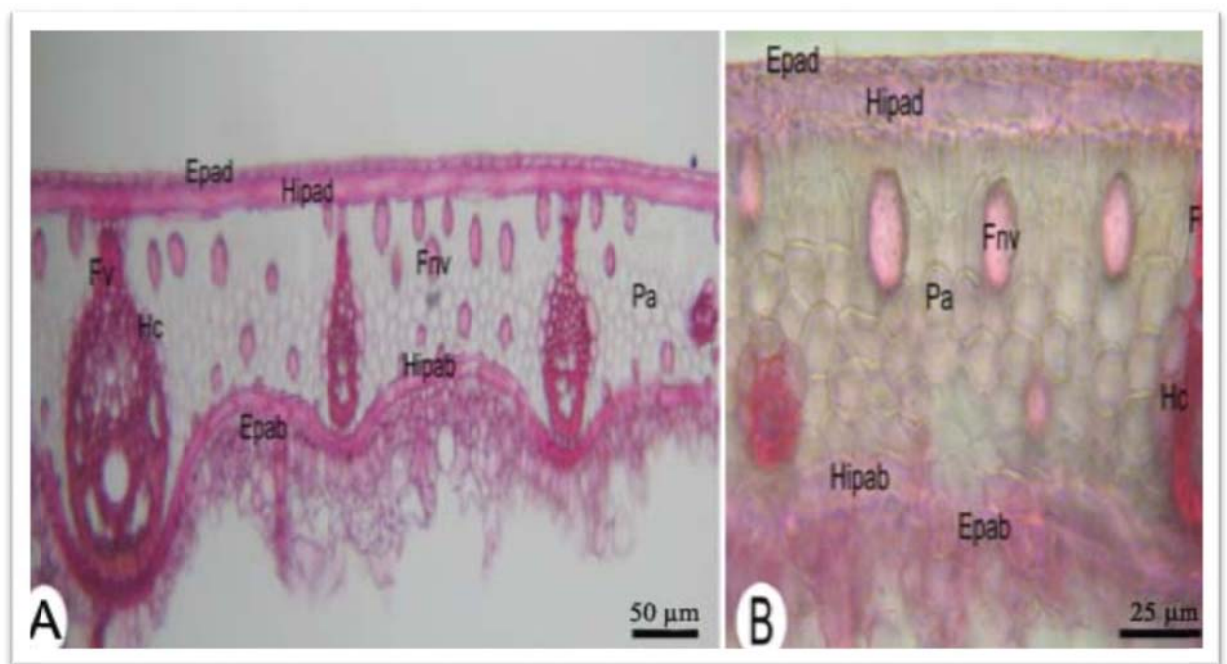
talle



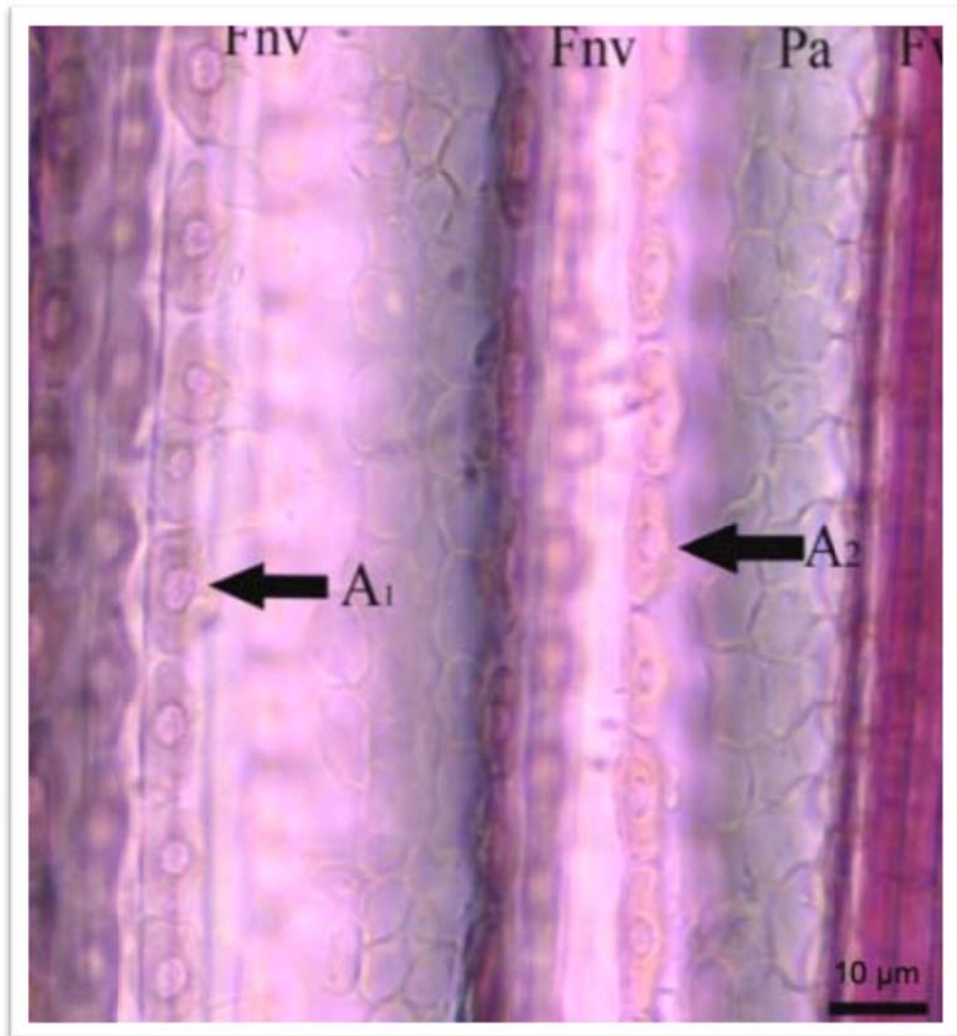
3,

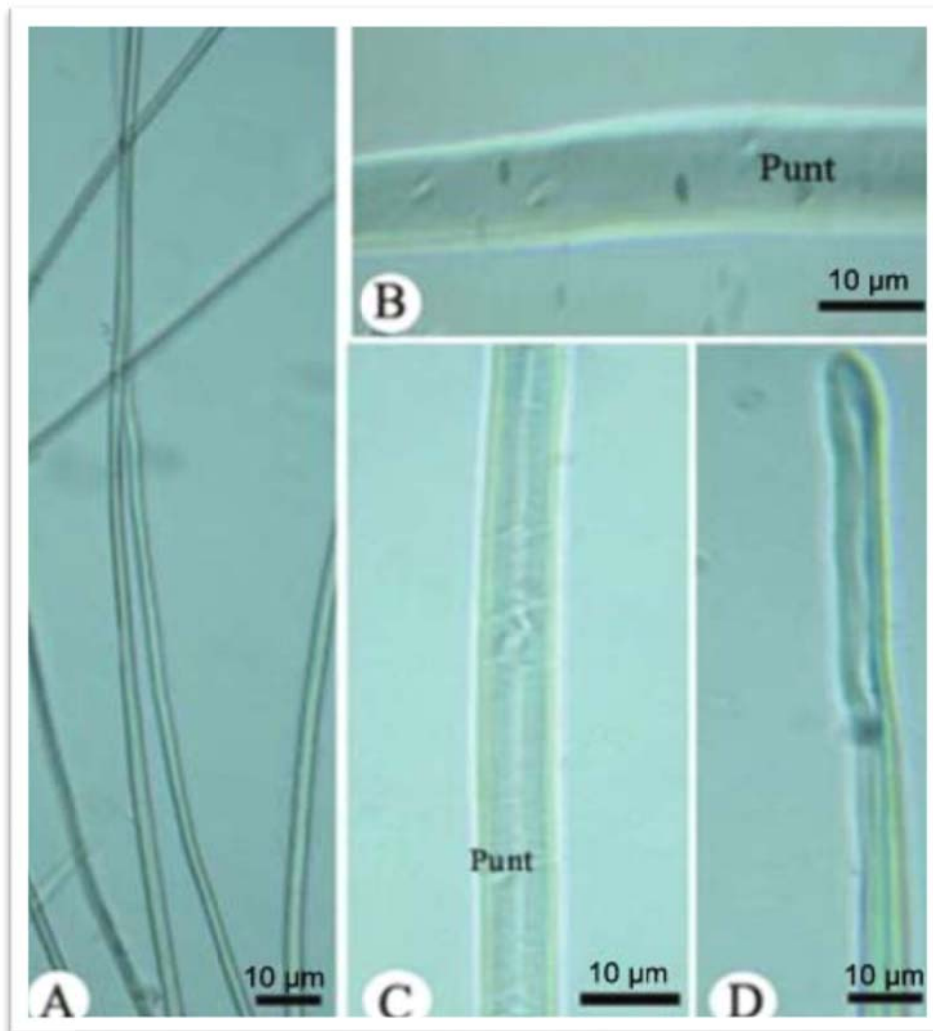


A,

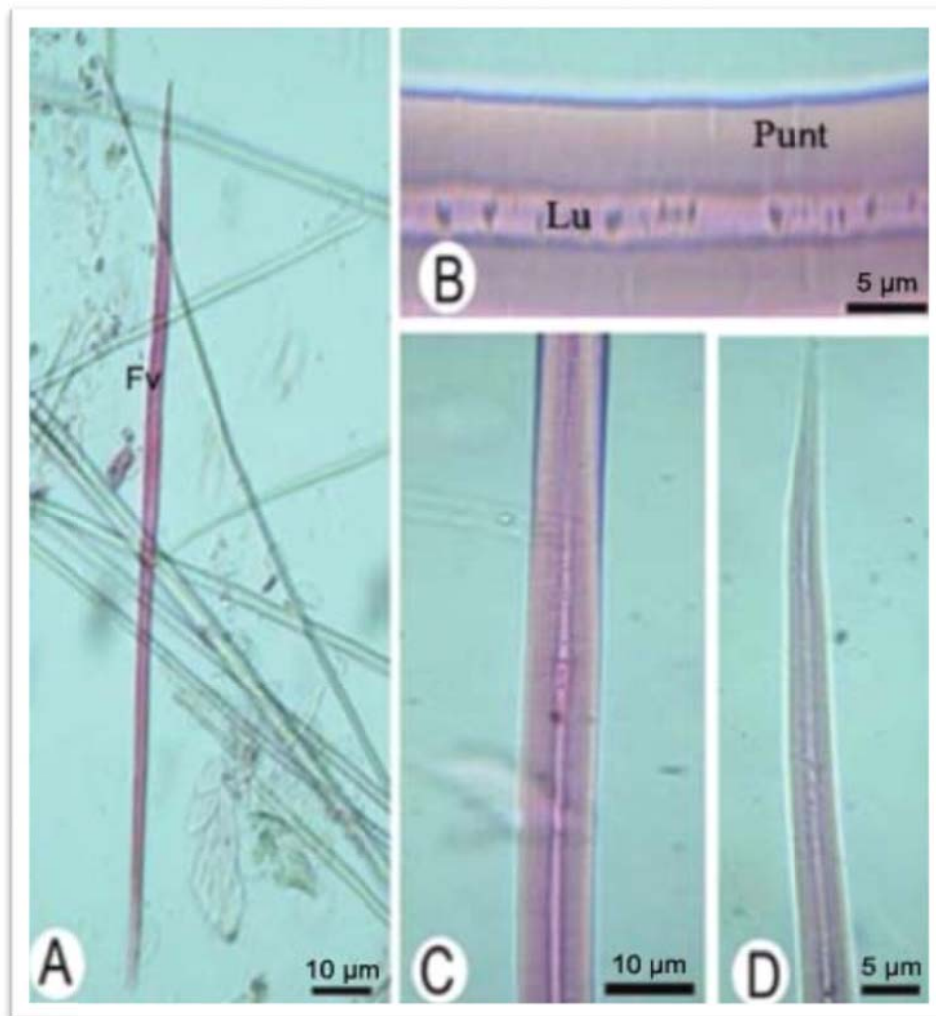


A,

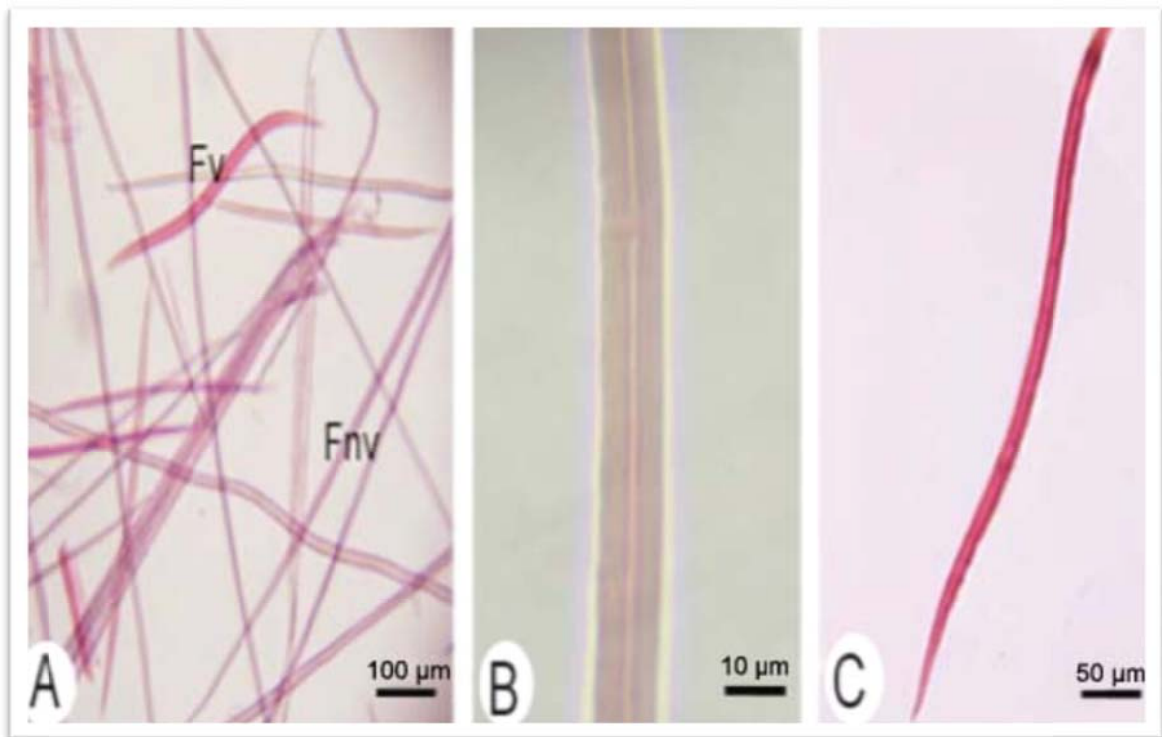




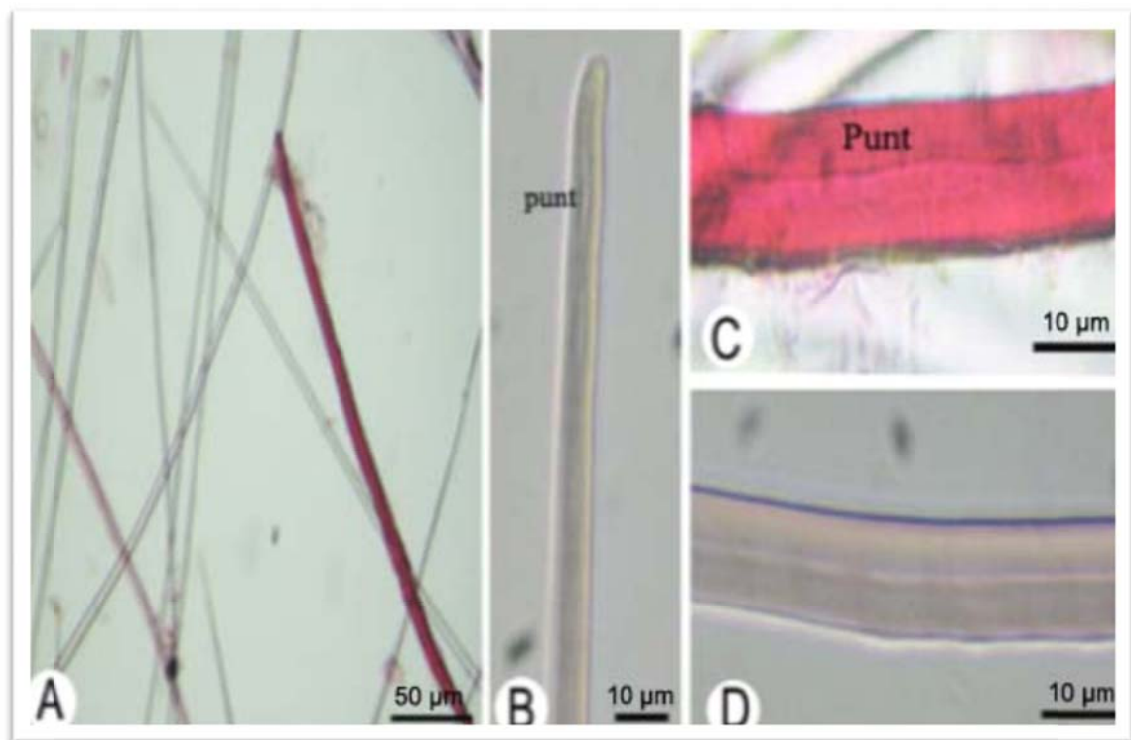
los
tas
no



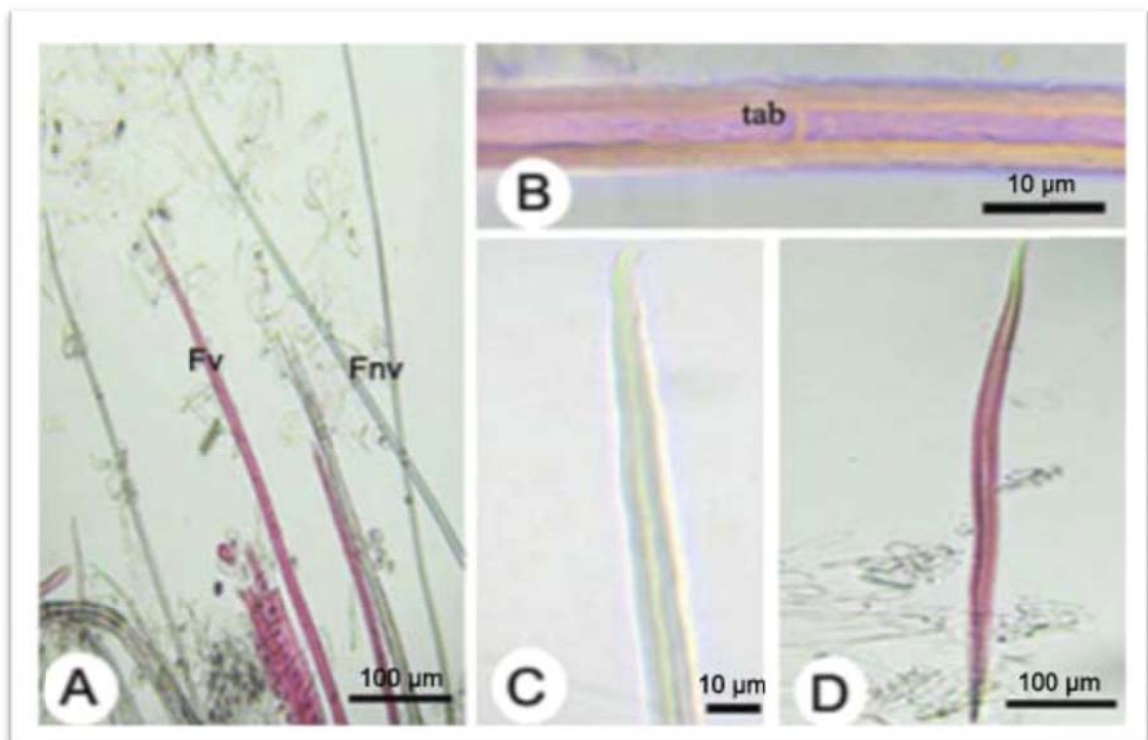
is
y



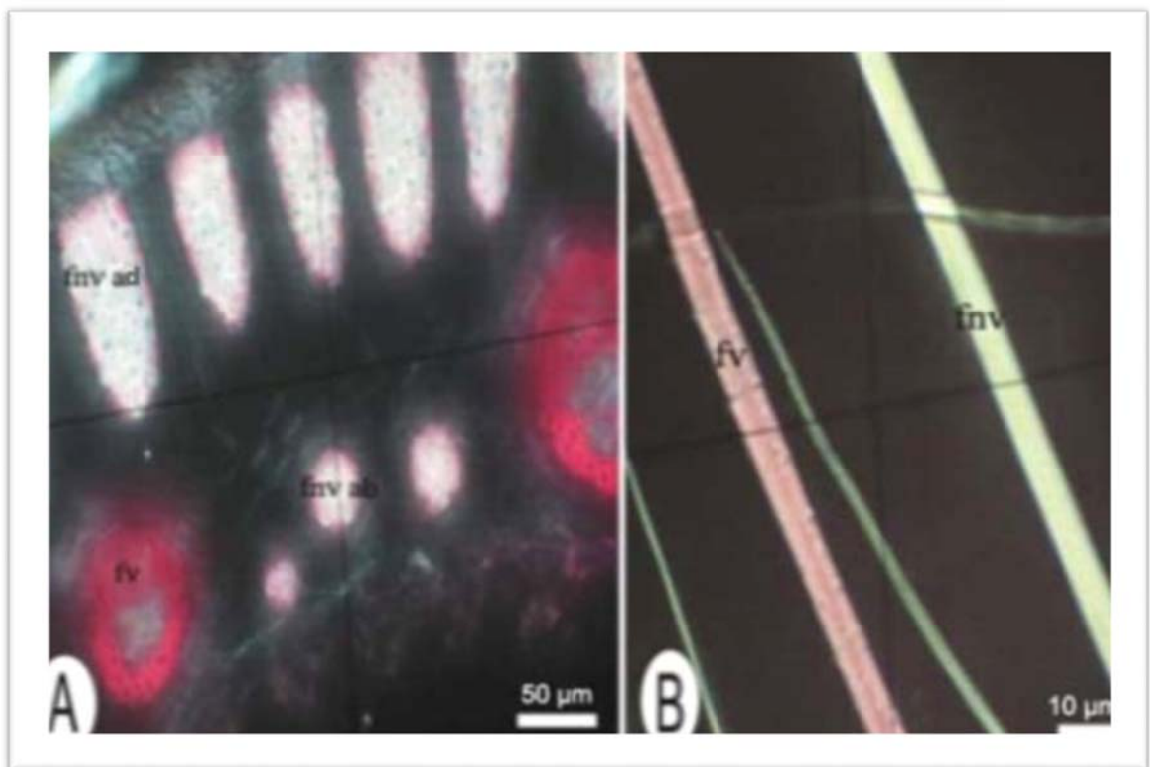
la hoja

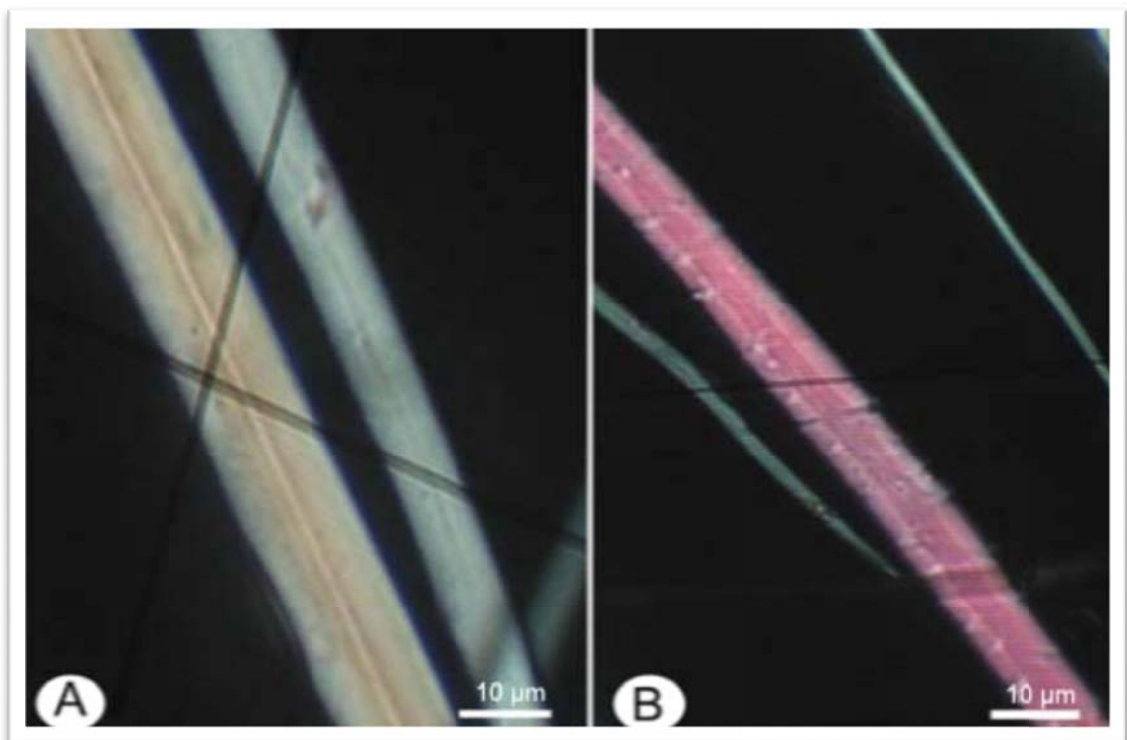


os de
ar. **C**,
e del

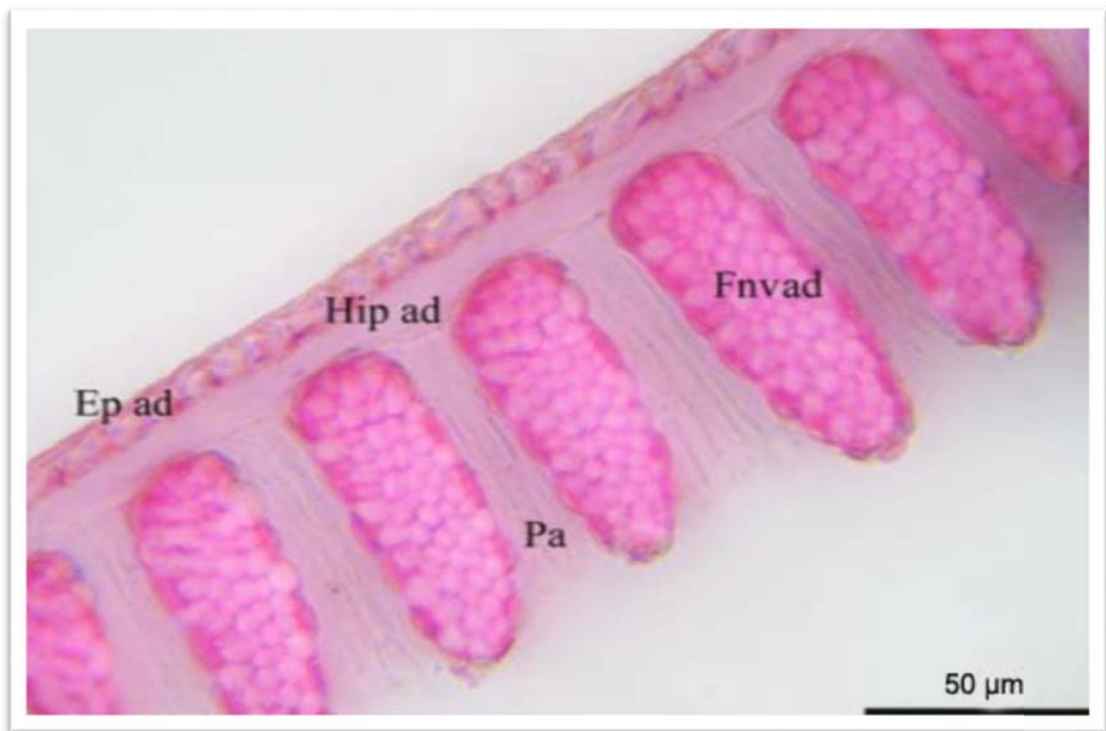


dos de
uperior

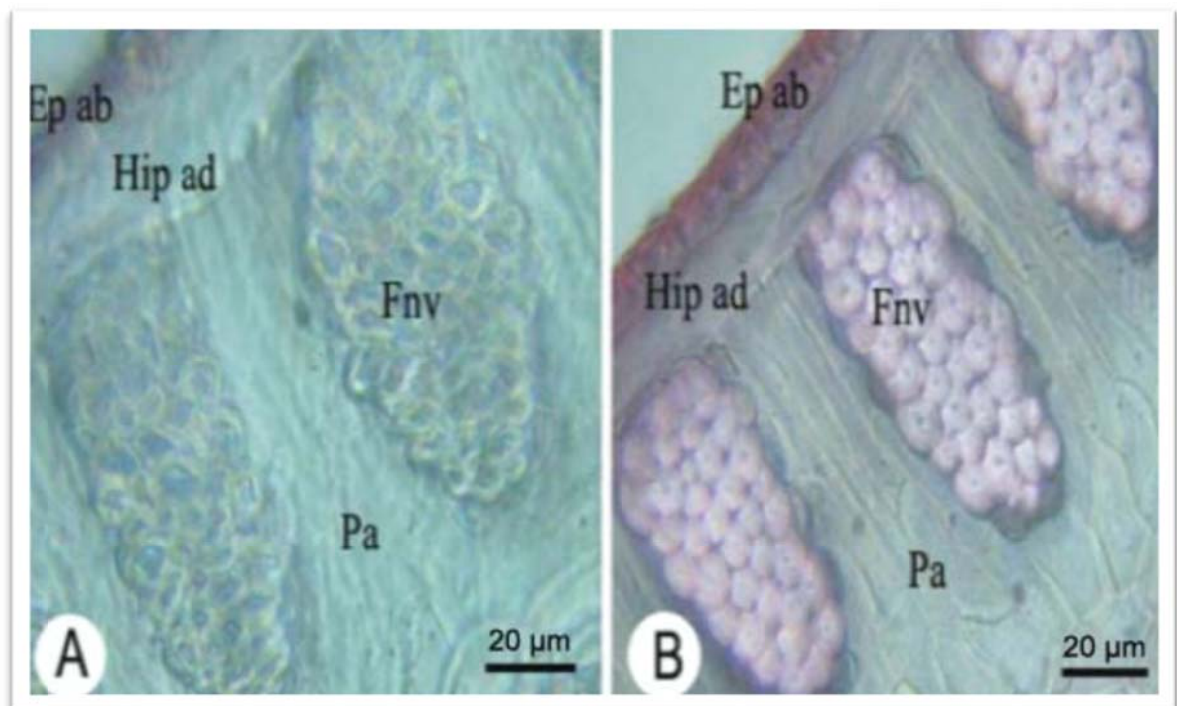


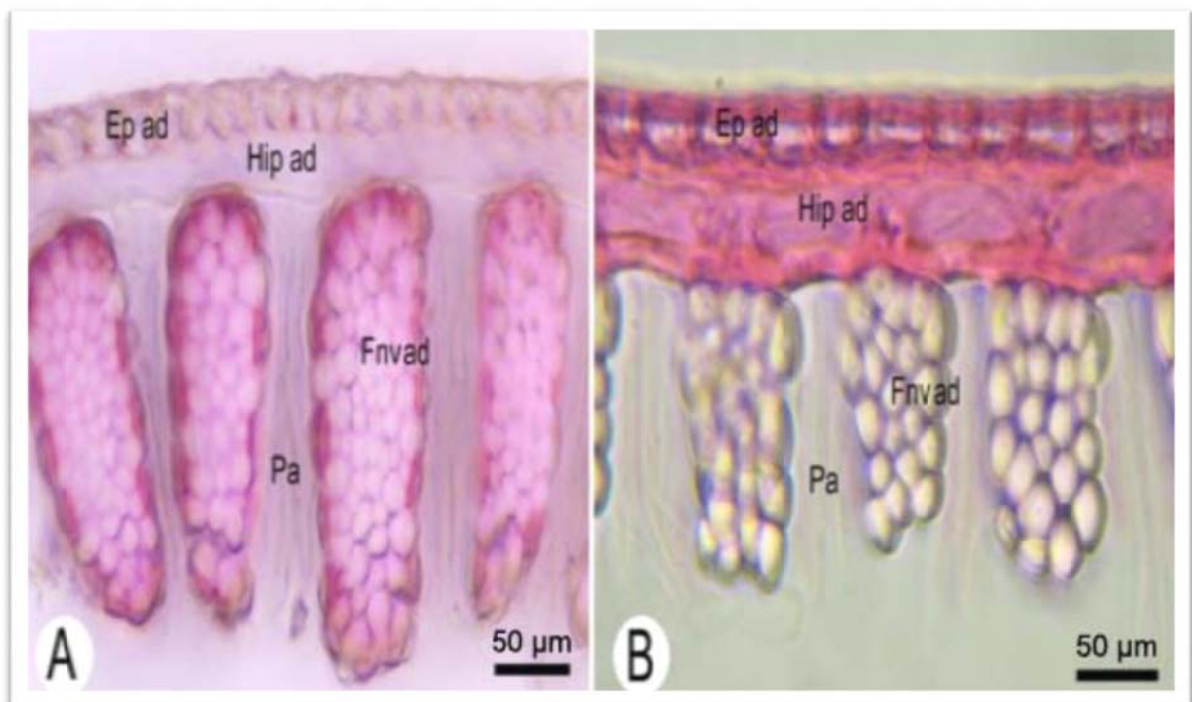


la. A,

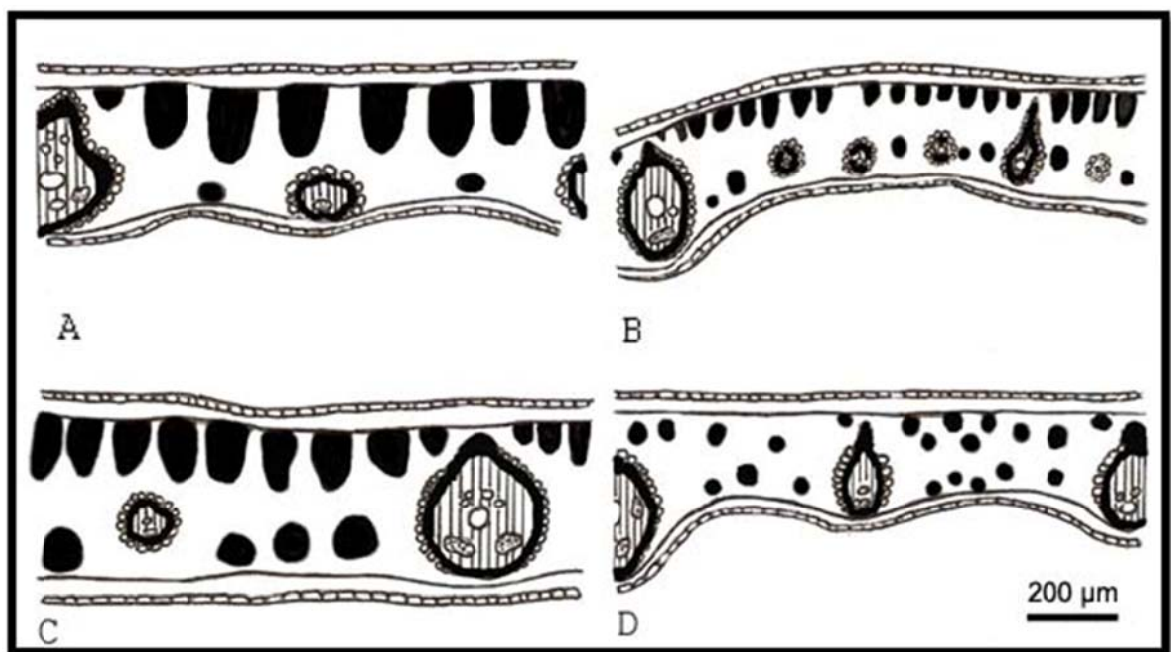


rcial.





axiales
a hoja



ura foliar
ocaryum

Tabla 1. Tipo celular y forma de la sección transversal de la fibra de *Astrocaryum chambira* comparada con fibras del comercio (adaptado de Mc Dougall et al.1993).

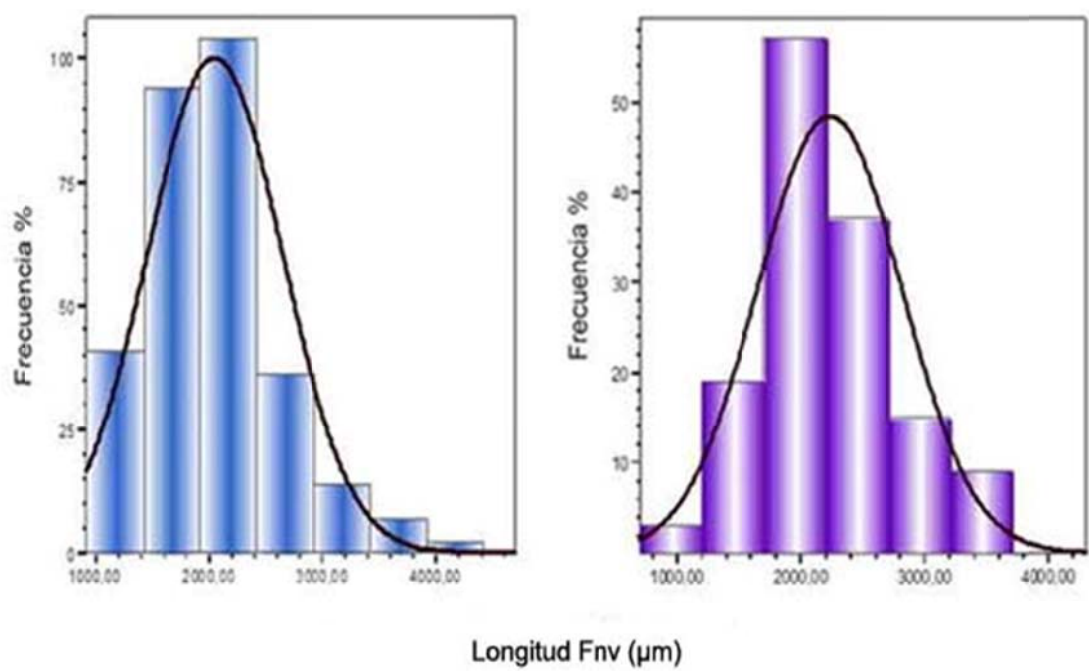
<i>Nombre común</i>	<i>Tipo celular</i>	<i>Forma en sección transversal</i>
<i>Fibras blandas</i>		
Algodón <i>Gossypium barbadense</i> Malvaceae	<i>Pelos epidérmicos</i>	<i>Tubular aplanada</i>
Cáñamo <i>Cannabis sativa</i> Cannabaceae	<i>Fibras pericíclicas</i>	<i>4-6 lados redondeado</i>
Kenaf <i>Hibiscus cannabinus</i> Malvaceae	<i>Fibras floemáticas</i>	<i>Poligonal redondeado</i>
Chambira <i>Astrocaryum chambira</i> Arecaceae	<i>Fibras no vasculares</i>	<i>Poligonal Acintada</i>
Jute <i>Corchorus capsularis</i> Tiliaceae	<i>Fibras floemáticas</i>	<i>Poligonal redondeado</i>
Lino <i>Linum usitassimun</i> Linaceae	<i>Fibras pericíclicas</i>	<i>4-5 lados redondeado</i>
Ramio <i>Boehmeria nivea</i> Urticaceae	<i>Fibras floemáticas</i>	<i>5-6 redondeado</i>
<i>Fibras duras</i>		
Sisal <i>Agave sisalana</i> Agavaceae	<i>Fibras vasculares</i>	<i>Redondeada poligonal</i>
Formio <i>Phormium tenax</i> Agavaceae	<i>Fibras vasculares</i>	<i>Redondeada</i>
Abacá <i>Musa textilis</i> Musaceae	<i>Fibras vasculares</i>	<i>Poligonal ovalada</i>

5.1.3. Parámetros biométricos

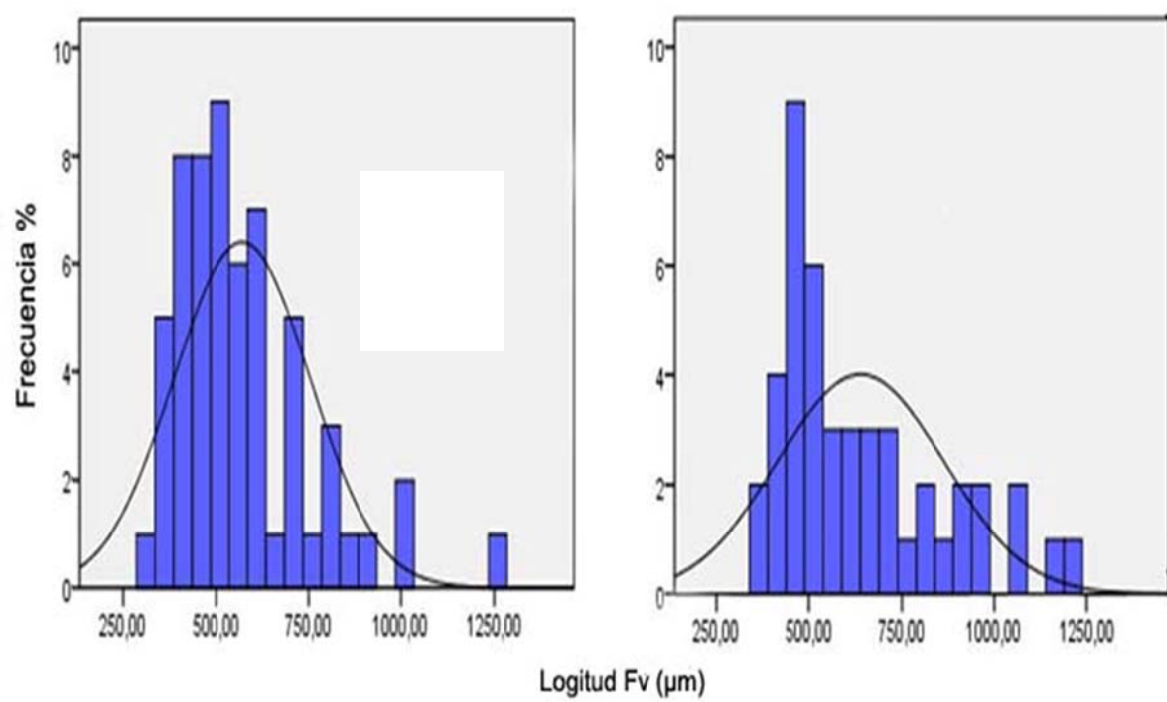
a) *Astrocaryum chambira* (Tablas 2- 8)

Lámina, de $231,0 \pm 34,6$ μm de espesor medio en la hoja no abierta y $254,5 \pm 33,2$ μm en la hoja abierta, con paquetes de fibras no vasculares adaxiales de $78,4 \pm 22,5$ μm de longitud media en la hoja no abierta y $76,3 \pm 21,7$ μm en la hoja abierta, ubicados regularmente por debajo de la hipodermis adaxial, entre el parénquima en empalizada; estos paquetes tienen formas de racimos alargados, con $46,0 \pm 18,0$ fibras en las hojas no abiertas y $43,2 \pm 16,0$ fibras en la hoja abierta. Paquetes de fibras no vasculares abaxiales de forma redondeada, de $17,7 \pm 2,5$ μm de longitud media en la hoja no abierta y $25,7 \pm 5,9$ μm en la hoja abierta. **Fibras no vasculares**, con una longitud mínima de 1100,0 μm , una máxima de 3560 μm y una media de $2168,4 \pm 592,7$ μm en las hojas no abiertas y una longitud mínima de 700,0 μm , una máxima de 4300,0 μm y una media de $2188,5 \pm 617,7$ μm en las hojas abiertas; un ancho mínimo de 5,0 μm , un máximo de 12,5 μm en ambos tipos de hojas y una media de $7,7 \pm 1,7$ μm en las hojas no abiertas y $8,2 \pm 1,8$ μm en las hojas abiertas. La longitud con la mayor frecuencia en las fibras no vasculares se encuentran entre 1500 μm - 2500 μm para las hojas no abiertas y alrededor de los 2000 μm para las hojas abiertas, siendo para ambos tipo de fibras la distribución de las longitudes de tipo normal (Figura 40). **Fibras vasculares**, con una longitud mínima de 310,0 μm , una máxima de 1250,0 μm y una media de $570,0 \pm 183,9$ μm en las hojas no abiertas; una longitud mínima de 350,0 μm , una máxima de 1200,0 μm y una media de $635,3 \pm 223,9$ μm en las hojas abiertas; un ancho mínimo de 7,5 μm , un máximo de 15,0 μm y una media de $9,4 \pm 1,8$ μm en las hojas no abiertas; un ancho mínimo de 6,3 μm , un máximo de 12,5 μm y una media de $10,2 \pm 1,7$ μm en la hoja abierta. Para las fibras vasculares, la longitud con la mayor frecuencia se

concentró alrededor de los 500 μm para ambos estados de desarrollo foliar siendo para ambos tipo de fibras la distribución de las longitudes de tipo normal (Figura 41).



tud de
abierta



Logitud
a hoja

b) *Astrocaryum jauari* (Tablas 5-8)

Lámina, de $191,7 \pm 8,7$ μm de espesor medio en la hoja no abierta, y $220,3 \pm 21,3$ μm en la hoja abierta, con paquetes de fibras no vasculares adaxiales de $42,1 \pm 11,6$ μm de longitud media en la hoja no abierta y $43,8 \pm 13,5$ μm en las hojas abiertas; estos paquetes tienen formas de racimos cortos, con una media de $13,9 \pm 6,1$ fibras en la hoja abierta y $15,1 \pm 6,2$ fibras en la hoja abierta. Paquetes de fibras no vasculares abaxiales, de forma redondeada, de $26,0 \pm 4,5$ μm de longitud media en la hoja no abierta y $24,3 \pm 4,8$ μm en la hoja abierta. **Fibras no vasculares**, con una longitud mínima de 920,0 μm , una máxima de 2800 μm y $1672,8 \pm 377,4$ μm de longitud media en la hoja no abierta, una mínima de 1000,0 μm , una máxima de 2590,0 μm y $1744,5 \pm 291,5$ μm de longitud media en la hoja abierta; un ancho mínimo de 7,5 μm , un máximo de 12,5 μm y un ancho promedio de $9,3 \pm 1,3$ μm en la hoja no abierta y un ancho mínimo de 5,0 μm , un máximo de 12,5 μm y un ancho medio de $8,8 \pm 1,4$ μm en la hoja abierta. **Fibras vasculares**, con un mínimo de 270,0 μm , un máximo de 770,0 μm y $501,8 \pm 117,9$ μm de longitud media en la hoja no abierta, un mínimo de 260,0 μm , un máximo de 1250,0 μm y $525,4 \pm 178,9$ μm de longitud media en las hojas abiertas. Un ancho mínimo de 7,5 μm , un máximo de 15,0 μm en ambos tipos de hojas y una media de $10,4 \pm 1,7$ μm en la hoja no abierta y $10,0 \pm 1,6$ μm en la hoja abierta.

La longitud con la mayor frecuencia en las fibras no vasculares se encuentra entre 1500 μm - 2000 μm para ambos tipos de desarrollo foliar (Figura 42). Para las fibras vasculares, la longitud con la mayor frecuencia se ubicó en el rango de 300 μm – 500 μm en ambos tipos de hojas (Figura 43), siendo para ambos tipo de fibras la distribución de las longitudes de tipo normal.

c) ***Astrocaryum standleyanum*** (Tablas 5-8)

Lámina, de $288,0 \pm 17,4$ μm de espesor medio en la hoja no abierta y $266,3 \pm 19,9$ μm en la hoja abierta, con paquetes de fibras no vasculares adaxiales de $65,0 \pm 21,3$ μm de longitud media en la hoja no abierta y $60,4 \pm 20,6$ μm en la hoja abierta; estos paquetes tienen formas de racimos alargados y formas ovadas, con $33,9 \pm 14,5$ fibras en promedio en la hoja no abierta y $36,2 \pm 14,5$ fibras en la hoja abierta. Paquetes de fibras no vasculares abaxiales, de forma redondeada, de $50,3 \pm 6,8$ μm de longitud media en la hoja no abierta y $52,9 \pm 6,4$ μm en la hoja abierta.

Fibras no vasculares, con una longitud mínima de 1450,0 μm , una máxima 3710,0 μm y $2468,6 \pm 459,0$ μm de longitud media en las hojas no abiertas, una longitud mínima de 1290 μm , una máxima de 3800,0 μm y $2491,6 \pm 609,2$ μm de longitud media en las hojas abiertas. Un ancho mínimo de 5,0 μm , un máximo de 12,5 μm y un ancho medio de $9,3 \pm 1,9$ μm en la hoja no abierta y un ancho mínimo de 5,0 μm , un máximo de 13,8 μm y un ancho medio de $9,0 \pm 1,9$ μm en la hoja abierta. **Fibras vasculares**, con una longitud mínima de 160 μm , una máxima de 550,0 μm y $344,9 \pm 109,6$ μm de longitud media en las hojas no abiertas; una longitud mínima de 220,0 μm , una máxima de 1250,0 μm y $681,4 \pm 374,0$ μm de longitud promedio en las hojas abiertas. Un ancho mínimo de 10,0 μm y un máximo de 13,8 μm en ambos tipos de hojas, un ancho medio de $11,9 \pm 1,3$ μm en la hoja no abierta y $12,2 \pm 1,0$ μm en la hoja abierta.

La longitud con la mayor frecuencia en las fibras no vasculares se encuentra alrededor de 2500 μm para las hojas no abiertas y en el rango 2000 μm - 2500 μm en las hojas abiertas (Figura 42). Para las fibras vasculares, la longitud con la mayor frecuencia se ubicó en el rango 250 μm - 500 μm en las hojas no abiertas para ambos estados de desarrollo foliar. Una distribución bimodal alrededor de 250

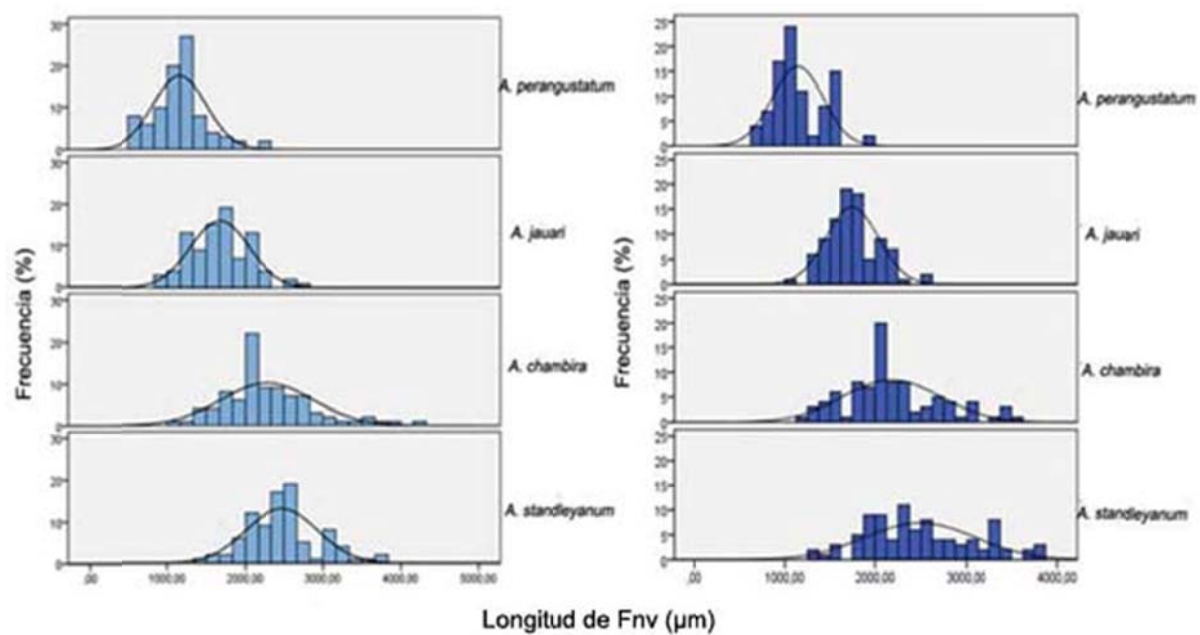
μm y de $1000\ \mu\text{m}$ se presentó en las hojas abiertas (Figura 43), siendo para ambos tipo de fibras la distribución de las longitudes de tipo normal.

d) ***Astrocaryum perangustatum*** (Tablas 5-8)

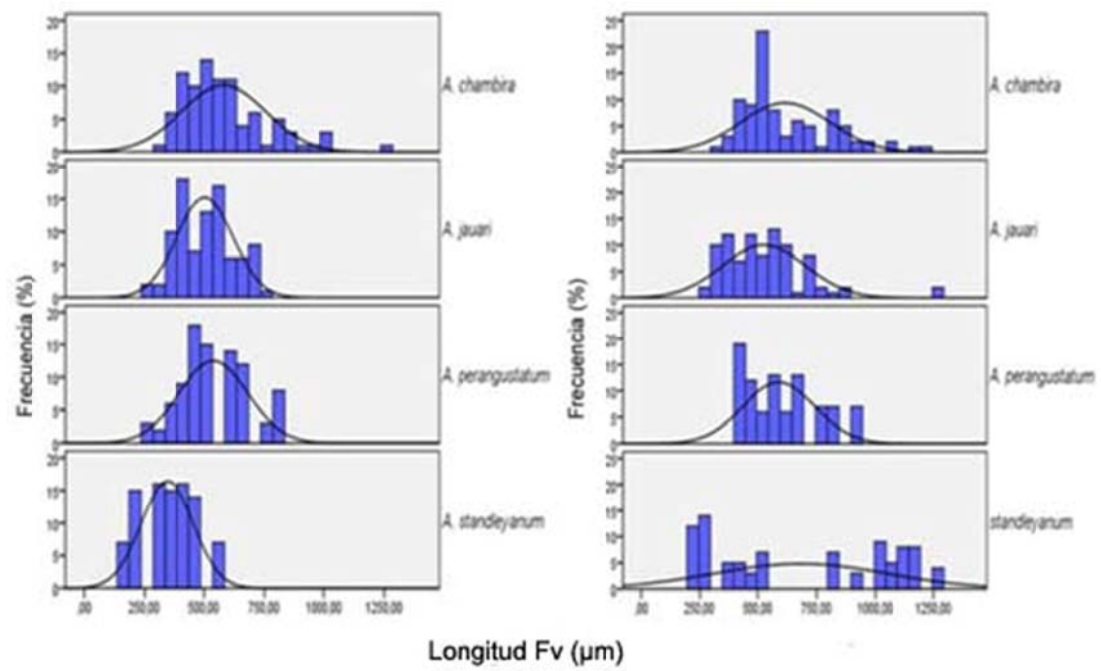
Lámina, de $153,3\pm 11,2\ \mu\text{m}$ de espesor medio en la hoja no abierta y $232,0\pm 27,2\ \mu\text{m}$ en la hoja abierta con paquetes de fibras no vasculares adaxiales de $30,9\pm 7,6\ \mu\text{m}$ de longitud promedio en las hojas no abiertas y $27,6\pm 5,9\ \mu\text{m}$ en las hojas abiertas. Paquetes de fibras no vasculares abaxiales, de $18,0\pm 4,8\ \mu\text{m}$ de longitud media en la hoja no abierta y $19,3\pm 3,8\ \mu\text{m}$ en la hoja abierta. Los paquetes tienen forma mayormente ovada, dispersos irregularmente en la mitad del mesófilo y hacia las hipodermis, con $15,8\pm 5,5$ fibras en promedio en la hoja no abiertas y $25,0\pm 13,3\ \mu\text{m}$ en las hojas abiertas. **Fibras no vasculares**, con una longitud mínima de $580,0\ \mu\text{m}$, una máxima de $2300,0\ \mu\text{m}$ y $1158,3\pm 339,9\ \mu\text{m}$ de longitud media en la hoja no abierta; un longitud mínima de $700,0\ \mu\text{m}$, una máxima de $1900,0\ \mu\text{m}$ y $1143,2\pm 280,5\ \mu\text{m}$ de longitud media en la hoja no abierta. Un ancho mínimo de $5,0\ \mu\text{m}$, un máximo de $10,0\ \mu\text{m}$ y un ancho medio de $6,9\pm 1,5\ \mu\text{m}$ en la hoja no abierta y un ancho mínimo de $5,75\ \mu\text{m}$, un máximo de $10,0\ \mu\text{m}$ y un ancho medio de $7,3\pm 1,9\ \mu\text{m}$ en la hoja abierta. **Fibras vasculares**, con una longitud mínima de $250,0\ \mu\text{m}$, una máxima de $830,0\ \mu\text{m}$ y de $537,6\pm 143,5\ \mu\text{m}$ de longitud media en la hoja no abierta; una longitud mínima de $400,0\ \mu\text{m}$, una máxima de $900,0\ \mu\text{m}$ y $589,0\pm 154,5\ \mu\text{m}$ en las hojas abiertas. Un ancho mínimo de $5,0\ \mu\text{m}$, un máximo de $12,5\ \mu\text{m}$ y un ancho medio de $9,5\pm 1,5\ \mu$ en la hoja no abierta; un ancho mínimo de $7,5\ \mu\text{m}$, un máximo de $10,0\ \mu\text{m}$ y un ancho medio de $9,7\pm 0,7\ \mu\text{m}$ en la hoja abierta.

La longitud con la mayor frecuencia en las fibras no vasculares se encuentra entre $100\ \mu\text{m}$ - $1500\ \mu\text{m}$ para las hojas no abiertas y alrededor de los $1000\ \mu\text{m}$ para las

hojas abiertas (Figura 42). Para las fibras vasculares, la longitud con la mayor frecuencia se ubicó en el rango 300 μm - 500 μm en las hojas no abiertas y en el rango de 300 μm – 700 μm en las hojas abiertas (Figura 43), siendo para ambos tipo de fibras la distribución de las longitudes de tipo normal.



res
las



es (Fv)
species

5.1.4. Morfometría comparativa de las fibras foliares *Astrocaryum chambira* en relación a las localidades evaluadas

a) Yamayakat:

Lámina, de $234,6 \pm 25,3 \mu\text{m}$ de espesor medio en la hoja no abierta y $268,6 \pm 30,6 \mu\text{m}$ en la hoja abierta, con paquetes de fibras no vasculares adaxiales de $79,3 \pm 23,9 \mu\text{m}$ de longitud media en la hoja no abierta y $72,5 \pm 14,7 \mu\text{m}$ en la hoja abierta, ubicados regularmente por debajo de la hipodermis adaxial, entre el parénquima en empalizada; estos paquetes tienen formas de racimos alargados, con $43,3 \pm 17,7$ fibras en las hojas no abiertas y $42,3 \pm 15,5$ fibras en la hoja abierta. Paquetes de fibras no vasculares abaxiales de forma redondeada, de $17,2 \pm 1,9 \mu\text{m}$ de longitud media en la hoja no abierta y $27,0 \pm 5,6 \mu\text{m}$ en la hoja abierta. **Fibras no vasculares**, con una longitud mínima de $1150,0 \mu\text{m}$, una máxima de $3560,0 \mu\text{m}$ y una media de $2224,8 \pm 573,5 \mu\text{m}$ en las hojas no abiertas y una longitud mínima de $700,0 \mu\text{m}$, una máxima de $3500 \mu\text{m}$ y una media de $2067,8 \pm \mu\text{m}$ en las hojas abiertas; un ancho mínimo de $5,0 \mu\text{m}$ y un máximo de $12,5 \mu\text{m}$ en ambos tipos de hojas y una media de $7,5 \pm 1,6 \mu\text{m}$ en las hojas no abiertas y $8,2 \pm 1,8 \mu\text{m}$ en las hojas abiertas.

b) Santa Luz:

Lámina, de $208,0 \pm 31,5 \mu\text{m}$ de espesor medio en la hoja no abierta y $227,5 \pm 16,5 \mu\text{m}$ en la hoja abierta, con paquetes de fibras no vasculares adaxiales de $77,5 \pm 21,7 \mu\text{m}$ de longitud media en la hoja no abierta y $80,1 \pm 26,9 \mu\text{m}$ en la hoja abierta, ubicados regularmente por debajo de la hipodermis adaxial, entre el parénquima en empalizada; estos paquetes tienen formas de racimos alargados, con $48,6 \pm 18,2$ fibras en las hojas no abiertas y $44,2 \pm 16,7$ fibras en la hoja abierta. Paquetes de fibras no vasculares abaxiales de forma redondeada, de $18,2 \pm 2,9 \mu\text{m}$

de longitud media en la hoja no abierta y $24,3 \pm 6,0$ μm en la hoja abierta. **Fibras no vasculares**, con una longitud mínima de 1100,0 μm , una máxima de 3550,0 μm y una media de $2116,8 \pm 611,5$ μm en las hojas no abiertas y una longitud mínima de 1200 μm , una máxima de 4300 μm , y una media de $2343,7 \pm 679,5$ μm en las hojas abiertas; un ancho mínimo de 5,0 μm , un máximo de 12,5 μm en ambos tipos de hojas y una media de $7,8 \pm 1,7$ μm en las hojas no abiertas y $8,2 \pm 1,6$ μm en las hojas abiertas.

Tabla 2. Longitud y ancho de las fibras no vasculares (Fnv) y longitud de los paquetes de fibras en *Astrocaryum chambira* según la fase de desarrollo foliar y la procedencia. Longitud y ancho en micrómetros; promedio \pm DE.

Procedencia	Hoja no abierta				Hoja abierta			
	Longitud Fnv	Ancho Fnv	Longitud paquetes de Fnv adaxiales	Longitud paquetes de Fnv abaxiales	Longitud Fnv	Ancho Fnv	Longitud paquetes de Fnv adaxiales	Longitud paquetes de Fnv abaxiales
Amazonas	$2224,9 \pm 573,5$	$7,5 \pm 1,6$	$79,3 \pm 23,9$	$17,2 \pm 1,9$	$2067,7 \pm 543,5$	$8,2 \pm 1,8$	$72,5 \pm 14,7$	$27,0 \pm 5,6$
Ucayali	$2116,9 \pm 611,5$	$7,9 \pm 1,7$	$77,5 \pm 21,8$	$18,2 \pm 2,9$	$2343,7 \pm 678,5$	$8,2 \pm 1,6$	$80,1 \pm 26,9$	$24,3 \pm 6,0$

En la tabla 2 se muestra los parámetros de fibras foliares evaluados para *Astrocaryum chambira*, según el lugar de procedencia. Las dimensiones de las fibras foliares de *Astrocaryum chambira* exhibieron una distribución normal y tienden a desarrollar una mayor longitud en la hoja abierta. En las fibras no vasculares, la mayor cantidad de fibras medidas se concentró en las 2000 μm en ambos tipos de hojas (Figura 40),

mientras que en las fibras vasculares, la mayor cantidad de fibras medidas se concentró en las 500 μm en ambos tipo de hojas (Figura 41).

Tabla 3. Distribución t de Student para las variables de fibras en *Astrocaryum chambira* según la procedencia.

	Ancho FNV	Longitud FNV	Ancho FV	Longitud FV
Media Yamayakat, Amazonas	7,98	2156,33	9,97	588,88
Media Santa Luz, Ucayali	8,74	2303,33	9,09	607,55
T calculada	-2,99	-1,76	3,11	-0,67
Decisión	Acepta	Acepta	Rechaza	Acepta

Tabla 4. Distribución t de Student para la lámina, paquetes de fibras y su número en *Astrocaryum chambira* por localidades.

	Ancho Lamina	Longitud Paquete Adaxiales	Longitud Paquete Abaxiales	Número Fibras
Media Yamayakat, Amazonas	230,10	75,58	39,08	41,83
Media Santa Luz, Ucayali	255,33	70,86	39,08	44,36
T calculada	-2,909	,842	0,00	-,628
Decisión	Acepta	Acepta	Acepta	Acepta

En la tabla 3 se muestran los resultados de la prueba t. Al realizar la comparación de medias para los valores de las fibras foliares, para ambas localidades, determinó que las diferencias presentadas en los parámetros de ambas localidades, Yamayakat y

Santa Luz, no fueron significativas, salvo para el ancho de fibras no vasculares, en esta variable se rechaza la hipótesis que el ancho de las fibras son semejantes en ambas localidades.

En la tabla 4 se muestran los resultados de la prueba t. Al realizar la comparación de medias para los valores del ancho de lámina, longitud de los paquetes de fibras no vasculares y el número de fibras de *Astrocaryum chambira* para ambas localidades, se determinó que las diferencias presentadas en los parámetros de ambas localidades, Yamayakat y Santa Luz, no fueron significativas, es decir se acepta la hipótesis que son semejantes estas variables en la localidades evaluadas (Anexo 14).

El análisis de varianza (ANOVA) para las fibras foliares y la comparación por grupos de los resultados obtenidos muestra que en *Astrocaryum chambira* no se encontraron diferencias significativas para la longitud de las fibras no vasculares, ya sea para las localidades en estudio como para el estadio de desarrollo foliar (Anexo 12 y 13).

5.1.5. Morfometría comparativa de *Astrocaryum chambira* y su relación con *A. jauari*, *A. standleyanum* y *A. perangustatum*

El análisis de correlación bivariadas muestra las siguientes relaciones: existe una relación estadísticamente negativa entre la procedencia y la longitud de los paquetes de Fnv, el número de fibras Fnv por paquete, longitud de Fnv (nivel de 0,000 y un coeficiente de Pearson de -0,6), excepto para *Astrocaryum standleyanum*; hay una disminución en los valores de estas variables desde *A. chambira*, *A. jauari* y *A. perangustatum*, teniendo esta última especie los valores más bajos en las variables mencionadas.

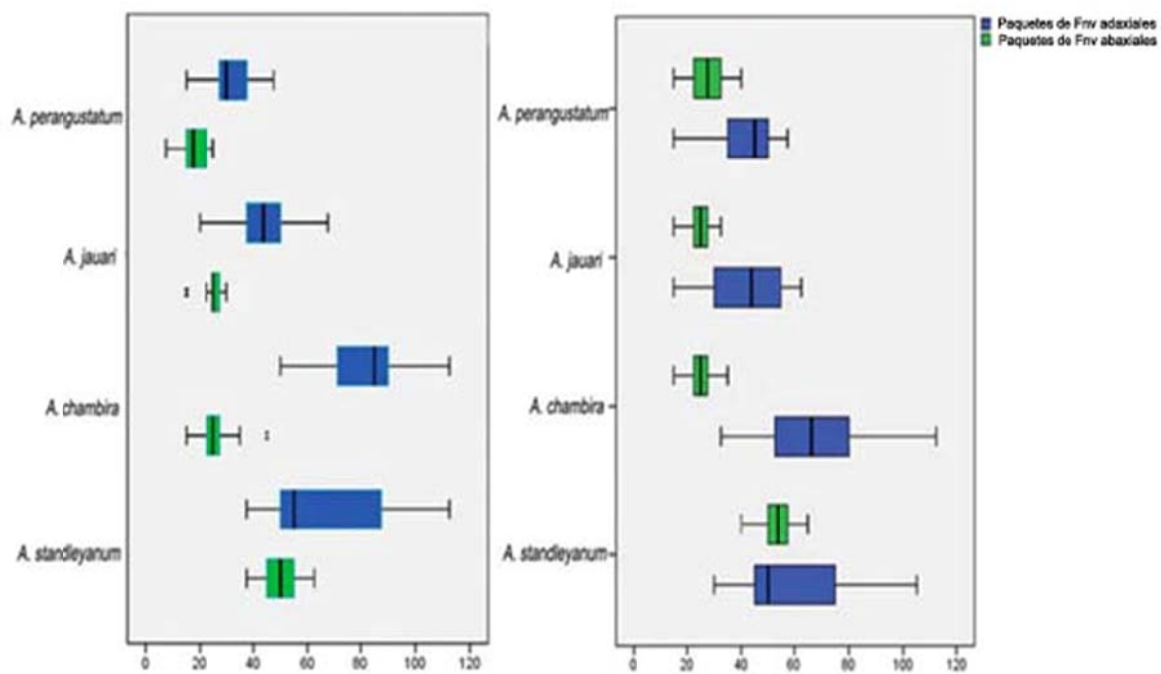
Existe una relación estadísticamente positiva de la longitud de paquetes de fibras no vasculares con el número de fibras por paquete y la longitud de fibras no vasculares (nivel de 0,000 y coeficiente de Pearson de 0,25), es decir en las especies evaluadas, los paquetes de fibras no vasculares son más grandes conforme contengan mayor número de fibras y estas presenten una mayor longitud.

Existe una relación estadísticamente negativa entre el número de fibras por paquete con la procedencia y estadísticamente positiva con la longitud de las fibras no vasculares (nivel de 0,000 y coeficiente de Pearson de 0,2 y 0,3 respectivamente), es decir el número de fibras se hace más pequeño desde *Astrocaryum chambira*, *A. jauari* y *A. perangustatum*; así mismo se encuentra en las especies que conforme los paquetes de fibras son más grandes, aumenta la longitud de las fibras no vasculares.

Existe una relación estadísticamente negativa entre el número de paquetes de fibras no vasculares y el número de fibras por paquete (nivel de 0,000 y coeficiente de Pearson de -0,2) es decir conforme el número de paquetes se hace mayor, disminuye la cantidad de fibras presentes en ellos.

Existe una relación estadísticamente positiva entre el ancho de Fibras no vasculares y el ancho de fibras vasculares, estas últimas son por lo general más anchas que las fibras no vasculares. No se encuentra una relación entre las dimensiones de las fibras no vasculares y la procedencia y estadio, aunque si para la longitud y ancho de las fibras vasculares, que son de menores dimensiones en la hoja abierta. De este análisis se extraen las variables de interés longitud de paquetes de fibras, longitud de las fibras no vasculares, ancho de fibras vasculares y el número de fibras por paquete.

La longitud de los paquetes de fibras no vasculares adaxiales en ambos tipos de hojas en *Astrocaryum standleyanum*, *chambira*, *A. jauari* y *A. perangustatum*, fueron mucho más grandes que los paquetes de fibras abaxiales, excepto en *A. standleyanum*. *Astrocaryum chambira* y *A. standleyanum* presentaron las mayores dimensiones en la longitud de los paquetes de fibras no vasculares adaxiales y fueron significativamente semejantes mientras que *Astrocaryum jauari* y *A. perangustatum* tuvieron las menores dimensiones, para ambos estadios de desarrollo foliar. La longitud de los paquetes de fibras abaxiales en la hoja abierta fueron significativamente más grandes en *Astrocaryum standleyanum* y más pequeños y uniformes en longitud en *Astrocaryum chambira*, *A. jauari* y *A. perangustatum* (Figura 44, Tabla 8).



Longitud de paquetes de Fnv (μm)

roja no

Tabla 5. Longitud de los paquetes de fibras no vasculares (F_{nv}) en las especies. Longitud en micrómetros; promedio \pm DE. Medias con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.001$).

	Hojas no abiertas				Hojas abiertas			
	Paquetes de F _{nv} adaxiales	Tukey	Paquetes de F _{nv} abaxiales	Tukey	Paquetes de F _{nv} adaxiales	Tukey	Paquetes de F _{nv} abaxiales	Tukey
<i>A. chambira</i>	78,4 \pm 21,9	B	25,33 \pm 6,1	B	68,1 \pm 20,5	C	25,9 \pm 5,4	A
<i>A. jauari</i>	42,2 \pm 11,6	A	26,3 \pm 5,7	B	43,8 \pm 13,5	AB	24,3 \pm 4,8	A
<i>A. standleyanum</i>	65,0 \pm 21,3	B	50,3 \pm 6,8	C	60,4 \pm 20,6	BC	52,9 \pm 6,4	B
<i>A. perangustatum</i>	30,9 \pm 7,6	A	18,0 \pm 4,7	A	42,2 \pm 11,0	A	27,6 \pm 5,9	A

En la Tabla 5 se muestra los resultados del análisis de varianza. Se obtuvieron diferencias estadísticas para la variable longitud de los paquetes de fibras en ambos tipos de desarrollo foliar para *Astrocaryum chambira* y *A. standleyanum*, que presentaron las mayores dimensiones. *A. standleyanum* se diferencia notablemente por la mayor dimensión de los paquetes de fibras abaxiales. En todas las especies y fases de desarrollo foliar, las fibras no vasculares fueron mucho más largas (Figura 44) y más delgadas que las fibras vasculares (Tabla 2).

Tabla 6. Dimensiones celulares (micrómetros) de fibras no vasculares en las especies; promedio \pm DE. Medias con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.001$).

	Hojas no abiertas				Hojas abiertas			
	Longitud	Tukey	Ancho	Tukey	Longitud	Tukey	Ancho	Tukey
<i>A. chambira</i>	2280,4 \pm 590,9	A	8,2 \pm 1,7	B	2179,2 \pm 532,7	B	8,5 \pm 1,8	A
<i>A. jauari</i>	1672,9 \pm 377,4	B	9,3 \pm 1,3	A	1744,6 \pm 291,5	C	8,8 \pm 1,4	A
<i>A. standleyanum</i>	2468,6 \pm 459,0	A	9,3 \pm 1,9	A	2491,7 \pm 609,2	A	9,0 \pm 1,9	A
<i>A. perangustatum</i>	1158,3 \pm 339,9	C	6,9 \pm 1,5	C	1143,2 \pm 280,5	D	7,3 \pm 1,9	B

En la tabla 6 se muestra los resultados para el análisis de varianza. Se obtuvieron diferencias estadísticas de las especies para las variables longitud y ancho de fibras no vasculares en ambos tipos de desarrollo foliar. La hoja no abierta para *Astrocaryum chambira* y *A. standleyanum* que presentaron las mayores dimensiones para ambos tipos de desarrollo foliar. *A. perangustatum* se diferenció notablemente por la menor dimensión de sus fibras no vasculares. Por lo general en las especies las fibras no vasculares fueron de mayores dimensiones en la hoja no abierta.

Tabla 7: Dimensiones celulares (micrómetros) de fibras vasculares en las especies; promedio \pm DE. Medias con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.001$).

	Hojas no abiertas				Hojas abiertas			
	Longitud	Tukey	Ancho	Tukey	Longitud	Tukey	Ancho	Tukey
<i>A. chambira</i>	580,3 \pm 176,7	A	9,2 \pm 2.3	C	616,1 \pm 190,8	AB	9,8 \pm 1,4	B
<i>A. jauari</i>	501,9 \pm 117,9	A	10,4 \pm 1.7	B	525,4 \pm 178,9	B	10,0 \pm 1,6	B
<i>A. standleyanum</i>	344,9 \pm 109,6	B	11,9 \pm 1.3	A	681,4 \pm 374,0	A	12,2 \pm 1,0	A
<i>A. perangustatum</i>	537,7 \pm 143,5	A	9,5 \pm 1.5	BC	589,0 \pm 154,5	AB	9,7 \pm 0,7	B

En el análisis de varianza, se obtuvieron diferencias estadísticas de las especies para las variables longitud y ancho de fibras vasculares, en ambos tipos de desarrollo foliar. La hoja no abierta para *Astrocaryum chambira* y *A. standleyanum* que presentaron las mayores dimensiones para ambos tipos de desarrollo foliar. Por lo general en las especies las fibras vasculares fueron más uniformes en sus dimensiones que las fibras no vasculares.

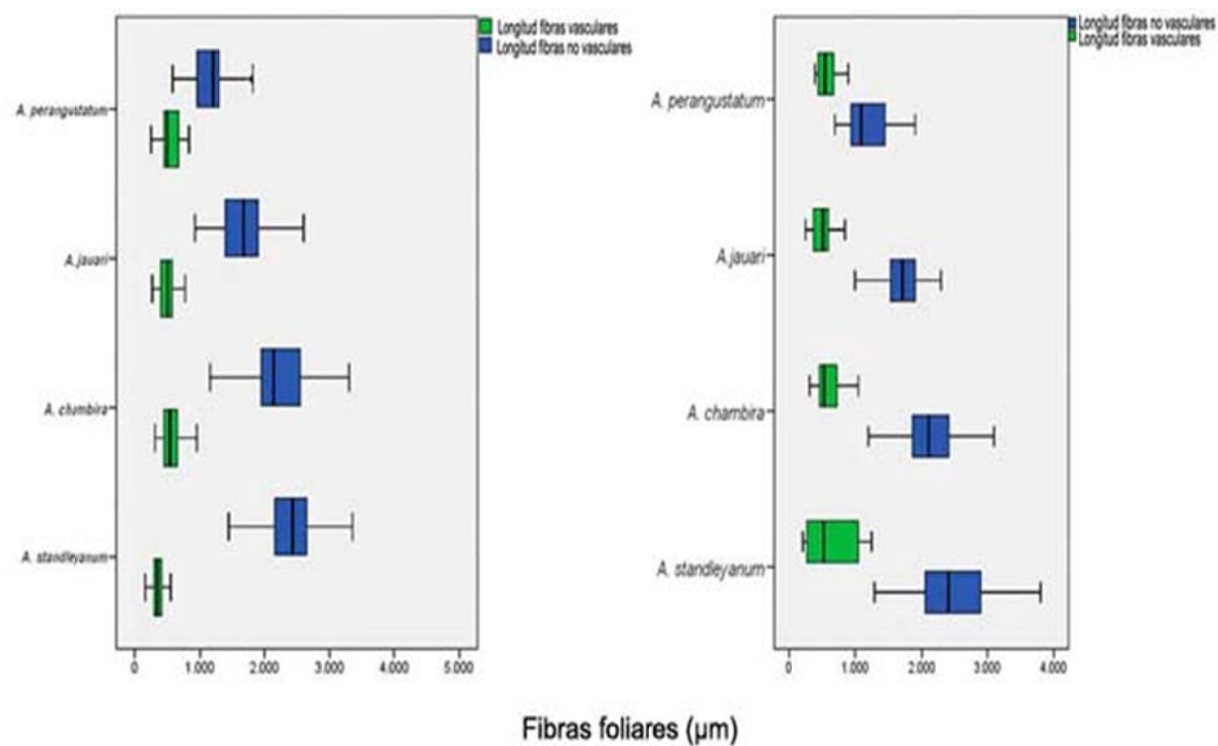


Tabla 8. Parámetros anatómicos relacionados a las fibras no vasculares (Fnv) de hojas no abiertas. Longitud y grosor en micrómetros; promedio \pm DE. (1) Paquetes de fibras no vasculares por 0.1 mm de hoja. Medias con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.001$).

Especies	Espesor de lámina	Tukey	Longitud de paquetes de Fnv	Tukey	Número de paquetes de Fnv(1)	Tukey	Número de Fnv por paquete	Tukey
<i>A. chambira</i>	231,0 \pm 34,7	B	78,4 \pm 21,9	A	17,7 \pm 2,5	B	44,5 \pm 17,0	A
<i>A. jauari</i>	191,7 \pm 08,7	C	42,2 \pm 11,6	B	23,3 \pm 2,4	A	13,9 \pm 6,1	B
<i>A. standleyanum</i>	288,0 \pm 17,5	A	65,0 \pm 21,3	A	15,2 \pm 1,5	C	33,9 \pm 14,5	A
<i>A. perangustatum</i>	153,3 \pm 11,2	D	34,2 \pm 7,7	B	13,5 \pm 2,8	C	15,8 \pm 5,5	B

Las fibras no vasculares fueron claramente de mayor dimensión que las fibras vasculares y presentaron diferencias estadísticas en las especies evaluadas; Las fibras no vasculares de mayor longitud, *Astrocaryum chambira* y *A. standleyanum*, exhibieron el mayor rango para las hojas no abiertas (2000 μm - 2800 μm) y las hojas abiertas (2000 μm - 2500 μm) y *Astrocaryum perangustatum* y *A. jauari* presentaron el menor rango de longitud en ambos tipos de hojas. La longitud de las fibras vasculares presentó una mayor uniformidad y se concentró en el rango de 300 μm - 600 μm para las especies en ambos tipos de hojas (Figura 44). Por el contrario las fibras vasculares fueron muchos más uniformes en longitud; *Astrocaryum standleyanum* comparativamente presentó las fibras vasculares más anchas.

En el análisis de varianza, se obtuvieron diferencias estadísticas para la variable espesor de lámina y longitud de los paquetes de fibras, en ambos tipos de desarrollo foliar para *Astrocaryum chambira* y *A. standleyanum*, los cuales presentaron las mayores dimensiones. *A. chambira* presentó la mayor cantidad de fibras no vasculares por paquete, asociada a la mayor longitud de los paquetes de fibras adaxiales. En cambio, *A. standleyanum* se diferencia notablemente por la mayor dimensión de los paquetes de fibras abaxiales. En todas las especies y fases de desarrollo foliar, las fibras no vasculares fueron mucho más largas y más delgadas que las fibras vasculares (Tabla 6).

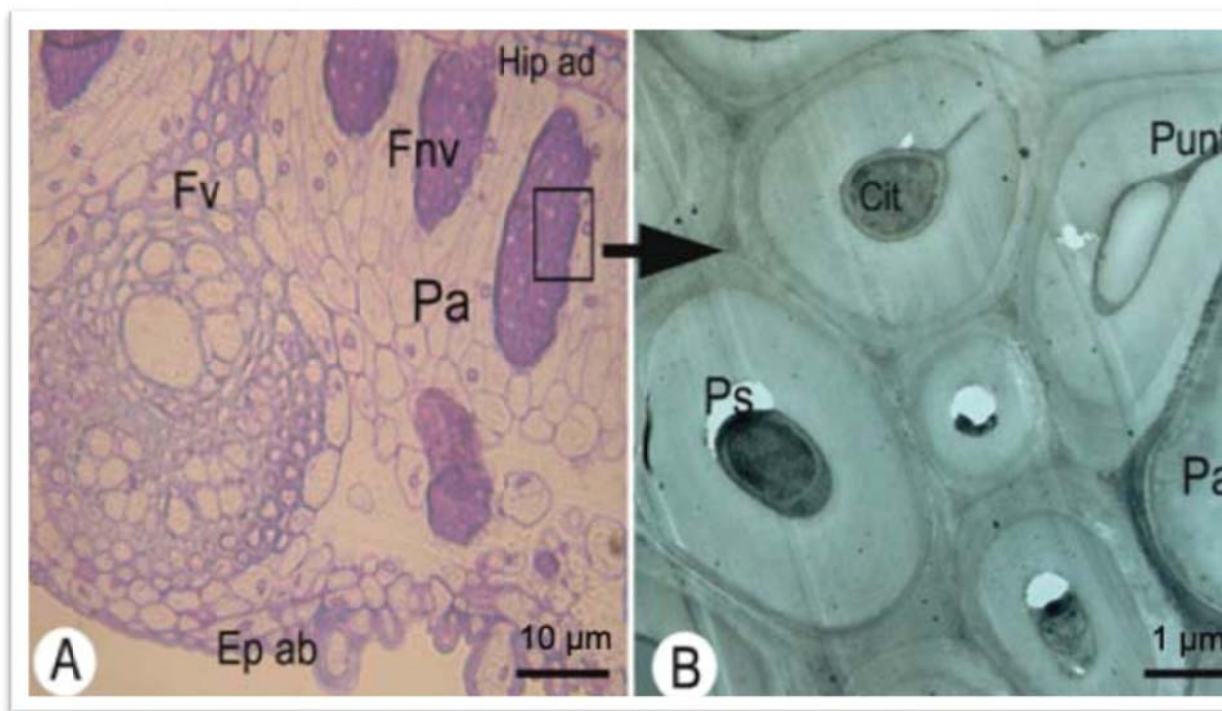
5.2. Ultra estructura de la pared de las fibras foliares de *Astrocaryum chambira*

En un paquete de fibras no vasculares existen diferentes estados de formación de las fibras; el grado de engrosamiento de la pared celular de las mismas está en función de su estado de formación (Figura 46). En la madurez, la mayor parte de las fibras no

vasculares presentaron una gruesa pared celular estratificada, de 2,08 μm de ancho, compuesta por 3 capas electrodensas: S_1 , S_2 y S_3 (Tabla 9).

La capa S_1 corresponde a la pared primaria, que se muestra asociada estrechamente a la lámina media (LM), compartiendo una mayor densidad de coloración. Esta capa S_1 presenta una fina estratificación concéntrica. Las capas S_2 y S_3 corresponden a la pared secundaria y presentan un aspecto homogéneo, sin estratificaciones, con una densidad de tinción uniforme y más clara. La capa intermedia (S_2) es la que alcanza el mayor diámetro (1,48 μm) mientras que la última capa (S_3) es una delgada capa que comparte con la anterior la misma densidad de coloración. Todas estas capas van disminuyendo su densidad de tinción desde la lámina media y la capa S_1 hacia las capas interiores S_2 y S_3 (Figura 47). El diámetro promedio de la fibra no vascular y el lumen citoplasmático fueron 7,0 μm y 0,18 μm respectivamente.

La fibra vascular presentó un lumen más amplio y una pared secundaria con un menor engrosamiento de la pared secundaria que la fibra no vascular (0,80 μm) y una estratificación definida en 2 capas (Figura 48).



e fibras nc
e del paql